



FERTILIZACIÓN NITROGENADA CONTINUA EN TRIGO PAN EN UN SITIO SEMIÁRIDO: EVALUACIÓN DE DOS CAMPAÑAS CONTRASTANTES



Autor: Juan Segundo Leoz Espil

Tutor: Dr. Juan Manuel Martínez

Consejeros: Mag. Roberto J. Kiessling

Ing. Agr. Nicolas Fernández

Departamento de Agronomía

Universidad Nacional del Sur

Bahía Blanca, mayo de 2025

Indice de tablas

Tabla 1: ocupados en la cadena de trigo por etapa de actividad económica (Dángelo et al., 2023).	10
Tabla 2: las fases de desarrollo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9) 10	
Tabla 3: Requerimientos nutricionales, IC y extracción (cada 1000kg) del cultivo de trigo.	13
Tabla 4: Estructura de tratamientos para el ensayo	21
Tabla 5: Variables determinadas en el ensayo.	22
Tabla 6: Disponibilidad de N (kg ha ⁻¹) y humedad (%) en los primeros 60 cm del suelo	23
Tabla 7: Medidas resumen de las variables medidas.	25
Tabla 8: Eficiencias del ensayo.	33

Indice de figuras

Figura 1: Producción mundial de trigo (toneladas) en el período 1994-2022 (Fuente FAOSTAT, 2024).....	7
Figura 2: Producción de trigo en Argentina (toneladas), en el período 2003-2024. (MAGyP, 2024).	8
Figura 3: Superficie destinada (millones de hectáreas) por provincia en 2024 (fuente= SaGyP, 2024).....	9
Figura 4: Etapas del ciclo de cultivo de trigo y generación de componentes numéricos del rendimiento. (Miralles et al., 2014).	11
Figura 5: Rendimiento y proteína en grano en función del nivel de N disponible en el suelo (s) más el fertilizante (f) (Correndo y García, 2016).....	17
Figura 6: Diagnóstico para la fertilización nitrogenada en trigo. Tomado de (Fuente: Abbate et al., 2006).....	15
Figura 7: Ubicación del sitio de ensayo en Chacra Experimental Napostá.	20
Figura 8: Distribución de las precipitaciones de ambas campañas (2022 y 2023) en la estación meteorológica Napostá comparadas con la necesidad teórica del cultivo (NC).....	23
Figura 9: Comparación de medias para MSta (kg ha-1) según tratamiento y año. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para todas las figuras.	26
Figura 10: Comparación de medias para Rendimiento (kg ha-1) según tratamiento y año.	27
Figura 11: Comparación de medias para IC según tratamiento y año.	27
Figura 12: Comparación de medias para Esp m-2 según tratamiento y año.....	28
Figura 13: Comparación de medias para P1000 según tratamiento y año.....	28
Figura 14: Comparación de medias para peso hectolítrico (PH) (kg hL-1) por tratamiento y año.	29
Figura 15: Comparación de medias para PROT (%) por tratamiento y año.	30
Figura 16: REND (kg ha-1) en función de la dosis de N aplicada en el año 2022....	31
Figura 17: Nitrógeno cosechado (kg ha-1) en función a la dosis de N aplicada en el año 2022.	31
Figura 18: REND (kg ha-1) en función de la dosis de N aplicada en el año 2023....	32
Figura 19: Nitrógeno cosechado (kg ha-1) en función a la dosis de N aplicada en el año 2023.	33

Resumen

El trigo es uno de los principales cultivos a nivel mundial, y el de mayor relevancia en el sudoeste bonaerense, donde las precipitaciones y la disponibilidad de nutrientes limitan la producción. Entre los nutrientes, el nitrógeno (N) es determinante y el principal condicionante del rendimiento y la calidad del trigo. Se realizó un ensayo para estudiar la variación bianual de la producción y calidad del trigo en las campañas 2022/2023 y 2023/2024, años en que la cantidad y distribución de precipitaciones variaron considerablemente. En la Chacra Experimental Napostá (Convenio MDA-UNS), localizado en el Partido de Bahía Blanca, donde se lleva a cabo un ensayo de larga duración con comienzo en 2009, testeando dosis y momentos de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad del trigo. El ensayo consiste de cuatro bloques y dosis de 0, 40 y 80 kg de N ha⁻¹ en dos momentos de aplicación (siembra-emergencia y macollaje), y la mayor dosis dividida en ambos momentos. Durante dos campañas agrícolas contrastantes (2022/2023 y 2023/2024), se muestrearon todos los tratamientos y se midieron parámetros de rendimiento y calidad del trigo. No se hallaron efectos en la producción por la aplicación de N, posiblemente debido a la elevada disponibilidad de N en el suelo al momento de la siembra. La diferencia hallada en la producción fue debida a las condiciones meteorológicas. En el año 2022, donde se registraron mayores precipitaciones que en el año 2023, aunque no fueron suficientes para cumplir con los requerimientos del cultivo, se obtuvieron mayores valores de materia seca total aérea (MSta) y rendimiento (REND), y mayores eficiencias de aprovechamiento de N. En el año 2023, que presentó fuertes limitaciones hídricas se vio una drástica reducción en la producción del cultivo. Esta reducción en la producción produjo un aumento en la variable proteína (PROT) por efecto de dilución. Ambas variables de calidad, PROT y peso hectolítrico (PH), si mostraron respuestas positivas a la aplicación y momento de N. En cuanto a los momentos de aplicación, no se encontraron diferencias significativas entre aplicaciones fraccionadas y aplicaciones únicas.

Índice

Índice de tablas.....	2
Índice de figuras	3
Resumen	4
Introducción	6
Especie	6
Producción mundial y nacional	6
El trigo en Argentina	7
Desarrollo del cultivo.....	10
Componentes del rendimiento - calidad.....	11
Requerimientos nutricionales.....	12
Nitrógeno en las plantas	13
Métodos de diagnóstico de la fertilización nitrogenada.....	14
Fertilización nitrogenada.....	16
Determinación de la dosis de N	18
Hipótesis	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
Materiales y métodos.....	20
Sitio experimental	20
Análisis de datos.....	22
Resultados y discusión	23
Caracterización meteorológica de las campañas 2022 y 2023.....	23
Estadística descriptiva	24
Efecto del momento y dosis de la fertilización	26
Eficiencias de N	30
Conclusiones	34
Bibliografía.....	35

Introducción

Especie

El trigo (*Triticum aestivum L.*) es una planta perteneciente a la familia de las Poáceas, presenta distintas variedades y está ampliamente distribuida en el mundo. Fue el primer cultivo en ser domesticado y aún en la actualidad es uno de los cultivos más importantes del mundo. La domesticación, ocurrida hace unos 10.000 años en el sudoeste asiático, constituye uno de los hechos seminales de la cultura occidental y su posterior expansión está íntimamente asociada al progreso del hombre. Esta posición preponderante del trigo se ha debido no sólo a sus buenas propiedades agronómicas -su adaptabilidad y su capacidad productiva en las más variadas situaciones climáticas-, sino también a las peculiares propiedades mecánicas del endospermo, que permiten la elaboración del pan, alimento que sigue siendo hoy la base de la dieta de una buena parte de la humanidad (García Olmedo y Carbonero Zalduegui, 1983). Su amplia distribución se puede atribuir a características ecológicas que lo favorecieron y a características del grano que lo hicieron máspreciado que el de otras especies vegetales. Las principales características ecológicas que favorecieron la difusión del trigo son:

- Buena adaptación a la mayor parte de los suelos agrícolas del mundo.
- El crecimiento del cultivo tiene un rango amplio de temperatura óptima.
- Existe una amplia diversidad fenológica entre genotipos gracias a la variada combinación de sensibilidad a la temperatura y al fotoperíodo, permitiendo un desarrollo adecuado en una amplia gama de ambientes.

Producción mundial y nacional

Después del maíz y el arroz, es el tercer cereal más producido en el mundo, estos tres cultivos aportan aproximadamente el 42.5% de las calorías del mundo. La producción mundial de trigo se ha fijado en 792,9 millones de toneladas en 2024 (FAO, 2024) (Figura 1). Esta cifra sigue una tendencia de crecimiento en la producción total, con un incremento de más de 200 millones de toneladas en un período de 20 años (2002-2022). Esta producción de trigo se da en una superficie que oscila entre 212 y 222 millones de hectáreas en los últimos 10 años (FAOSTAT, 2024).

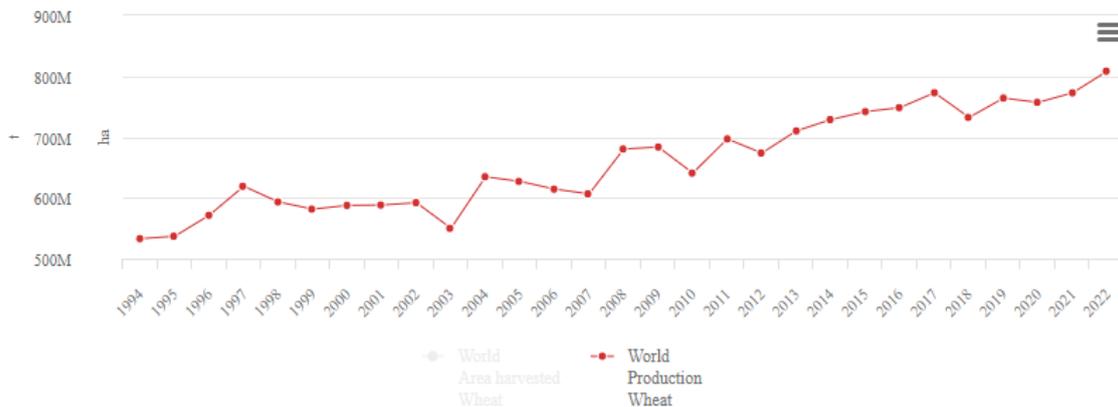


Figura 1: Producción mundial de trigo (toneladas) en el período 1994-2022 (Fuente FAOSTAT, 2024).

El trigo en Argentina

En Argentina, el trigo se cosecha desde antes de su propia creación como tal. Los primeros lotes trigueros se sembraron hacia el fin del siglo XVII dónde hoy se asienta la provincia de Córdoba. Varios siglos más tarde, la producción de trigo ha sido y es una constante en la historia productiva argentina. Hoy es el tercer cultivo en superficie y producción a nivel nacional (D'Angelo et al., 2013).

En Argentina la producción de trigo promedio de los últimos 10 años es de 16,95 millones de toneladas (figura 2). En la campaña 23/24 se alcanzaron 15.85 millones de toneladas producidas (SAGyP, 2024).

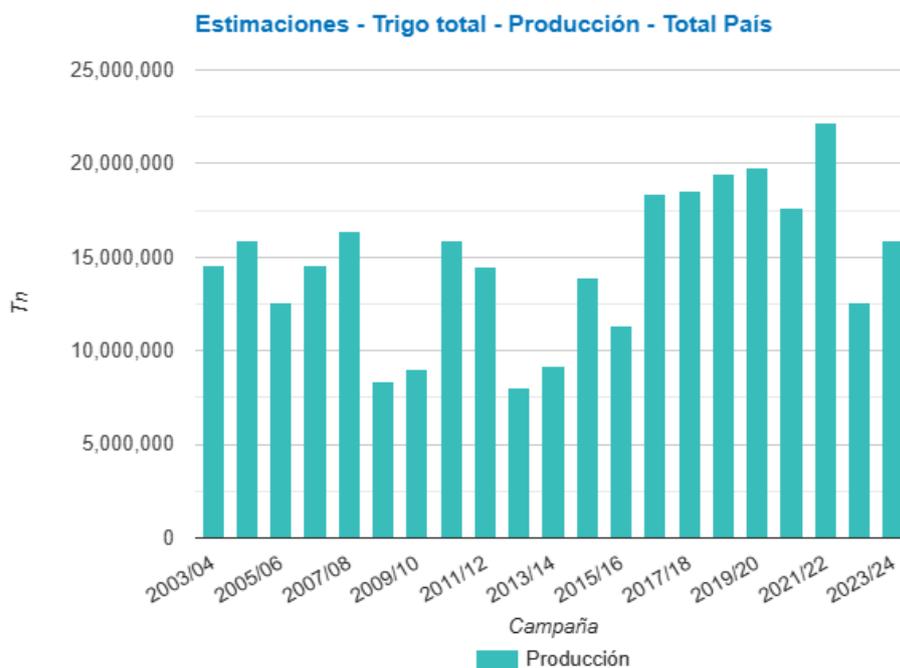


Figura 2: Producción de trigo en Argentina (toneladas), en el período 2003-2024. (MAGyP, 2024).

En el país el trigo se cultiva en gran extensión del territorio, alcanzándose en la campaña 2023/2024 la cifra de 5.916.978 hectáreas (Secretaría de Agricultura, ganadería y pesca, 2024). Más del 98% del trigo argentino se cultiva en una amplia región que va desde los 23° a 40° de latitud y de los 57° a 67° de longitud, cubriendo un área de 1890 km de largo por 850 km de ancho (Divito y García, 2017). Las provincias con mayor superficie destinada a este cultivo son Buenos Aires, seguida de Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y Santiago del Estero. La distribución de la superficie destinada a la siembra de trigo por las principales provincias mencionadas se puede ver en la figura 3.

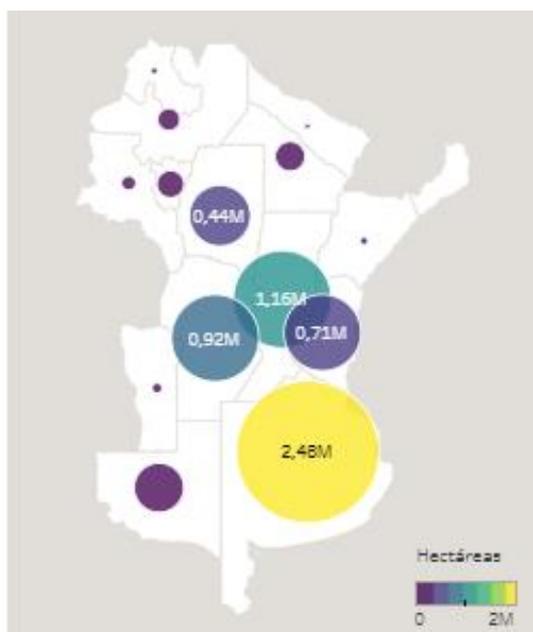


Figura 3: Superficie destinada (millones de hectáreas) por provincia en 2024 (fuente= SAGyP, 2024).

Cada año se industrializan cerca de 6 M t de trigo para abastecer el consumo interno, donde se consumen casi 100 kg de harina por persona, destinada a la producción de pan, facturas, pizza, pastas, entre otros, que son de consumo frecuente en el país. El resto de lo producido se destina a exportación a países como Brasil, Indonesia, Chile, Argelia y Kenia. En este rubro Argentina ocupa un lugar importante, siendo uno de los 9 países que más trigo exporta. Además de su importancia en el consumo, la cadena triguera genera más de 400.000 puestos de trabajo, detallados en la Tabla 1. La comercialización y la industrialización del trigo son protagonistas en el empleo, con la molienda, elaboración y venta de alimentos en base al trigo como principal renglón en puestos de trabajo (D'Angelo et al., 2023).

Tabla 1: Cantidad de personas ocupadas en la cadena de trigo por etapa de actividad económica (Dángelo et al., 2023).

Ocupados en la cadena de trigo por etapa de actividad económica 1er trimestre 2023

Etapa	Ocupados	Participación sobre total cadena triguera	Participación sobre total de las CAA
Insumos y Maquinaria	19.821	5%	18,5%
Primaria	59.945	15%	4,7%
Industrialización	145.180	35%	16,4%
Comercialización	162.578	40%	15,7%
Transporte y Almacenamiento	20.934	5%	11,9%
Servicios Relacionados	2.575	1%	20,0%
Total	411.032	100%	11,8%

Fuente: @BCRmercados, estimaciones propias en base a MDP e INDEC.

Desarrollo del cultivo

Durante el ciclo del cultivo ocurren dos procesos simultáneos: crecimiento y desarrollo. El crecimiento involucra aumento de la biomasa, mientras que el desarrollo involucra la sucesión de estados morfológicos o fisiológicos que se presentan durante el ciclo del cultivo. Ambos procesos están regulados genéticamente e influenciados por el ambiente (Abbate y Divito, 2017).

Es más sencillo considerar el desarrollo como una serie de fases tal como en la escala Zadoks (Zadoks et al., 1974) (Tabla 2). Esta escala consta de 10 fases numeradas de 0 a 9.

Tabla 2: las fases de desarrollo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9).

Etapa principal	DESCRIPCIÓN	Sub-fase	Etapa principal	DESCRIPCIÓN	Sub-fase
0	Germinación	0.0-0.9	5	Espigado	5.0-5.9
1	Producción de hojas TP	1.0-1.9	6	Antesis	6.0-6.9
2	Producción de macollos	2.0-2.9	7	Estado lechoso del grano	7.0-7.9
3	Producción de nudos TP (encañado)	3.0-3.9	8	Estado pastoso del grano	8.0-8.9
4	Vaina engrosada	4.0-4.9	9	Madurez	9.0-9.9

TP= tallo principal

Según Zadoks et al., (1974).

Por su parte, Miralles et al. (2014) propusieron que el ciclo del trigo puede dividirse en seis etapas, mostradas en la Figura 4: Establecimiento (entre siembra y emergencia); pre-macollaje (entre emergencia e inicio de macollaje); macollaje (entre inicio de macollaje e inicio de encañazón); espigazón (entre inicio de espigazón y fin de antesis; llenado de grano (entre fin de antesis y madurez fisiológica). Luego del llenado de grano, empieza a secarse, estando el rendimiento ya definido, solo perdiendo agua.

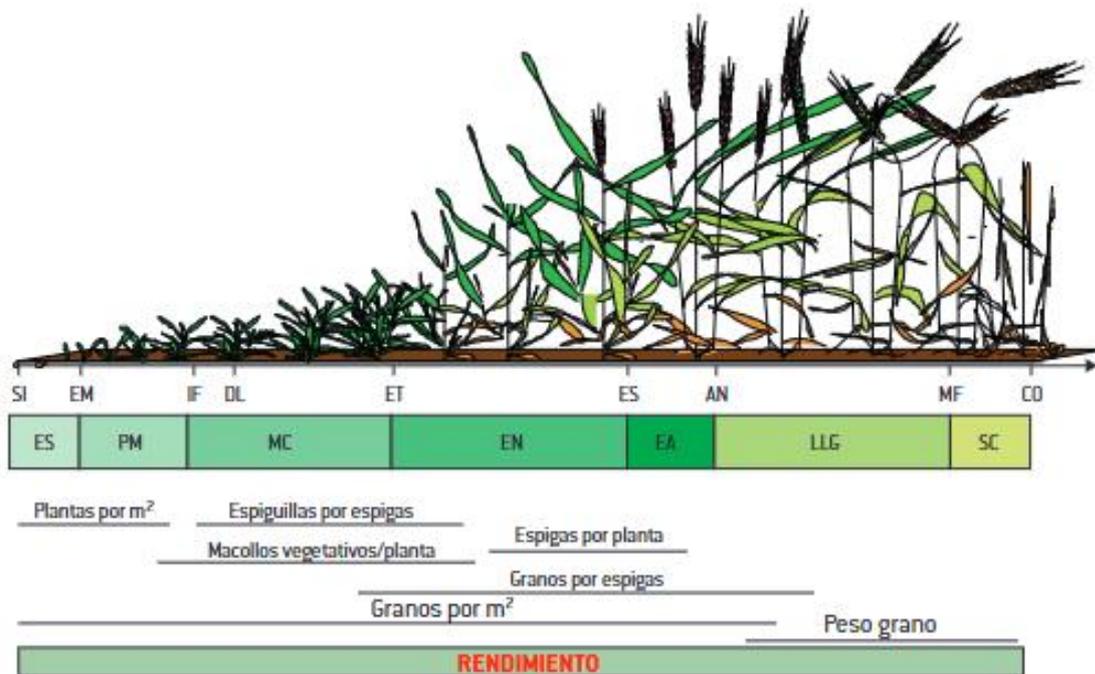


Figura 4: Etapas del ciclo de cultivo de trigo y generación de componentes numéricos del rendimiento. (Miralles et al., 2014).

Componentes del rendimiento - calidad

El rendimiento en trigo se puede estimar multiplicando todos los factores que hacen al mismo, siendo estos: plantas por metro cuadrado (pl/m^2), macollos por planta, espigas/macollo, granos por espiguilla y peso de granos. El primer componente que entra en juego es el de pl/m^2 , que fundamentalmente se regula con la dosis de siembra, además del poder germinativo de la semilla, profundidad de siembra, humedad y sanidad.

El segundo componente que empieza a definirse es el de macollos/planta. En este, además del componente genético y de la densidad de siembra, tiene un papel muy importante el ambiente: un estrés en esta etapa (sea por falta de agua o disponibilidad

de nutrientes) disminuirá el número de macollos reduciendo el rendimiento. También la fecha de siembra influirá en el número de macollos que se podrán diferenciar.

Durante el macollaje también se está definiendo el número de espiguillas/espiga, en un proceso en el que el ápice meristemático sufre transformaciones, pasando de dar hojas a dar espiguillas. La duración de este proceso y el número final estará fundamentalmente regulado a condiciones de temperatura y fotoperiodo, aunque también son importantes factores como el agua y la nutrición.

Una vez finalizado el macollaje comienza el período de encañazón, distinguible por la elongación de los entrenudos y dando lugar al verdadero tallo, o caña. En este período se diferencian las flores por espiguilla (granos potenciales) y comienza la muerte de macollos que no pueden ser abastecidos, fuertemente regulada por condiciones hídricas y de disponibilidad de nutrientes.

El número de granos por espiguilla tiene un importante rol el componente genético, hay un elevado porcentaje de flores que abortan.

Una vez definido el número de granos por espigas comienza el llenado de granos, en el cual en un cultivo sano la fuente de asimilados viene principalmente de la fotosíntesis de hojas, seguido de la movilización de reservas, y en una menor proporción por la fotosíntesis de las espigas. Por estos motivos es que la nutrición del cultivo en este momento y la condición hídrica son grandes reguladores del peso de los granos.

Además del rendimiento, en la producción y comercialización de trigo son importantes los rubros de calidad del grano. Los que son regulados por el ambiente son el peso hectolítrico (PH), que se define durante el llenado de granos, con la condición hídrica; % de proteína, condicionado por la disponibilidad de nitrógeno (N); granos panza blanca, que aparecen en condiciones de exceso de lluvias al final del cultivo y déficit de N (granos llenos, pero sin proteína).

Requerimientos nutricionales

En la tabla 3 se detallan los requerimientos nutricionales, el índice de cosecha (IC) y la extracción de nutrientes para el cultivo de trigo. Estos valores deben considerarse promedios ya que la concentración de nutrientes en planta y grano es variable, dependiendo de las condiciones de producción, los niveles de rendimiento y la disponibilidad de cada nutriente en el suelo.

Tabla 3: Requerimientos nutricionales, IC y extracción (cada 1000kg) del cultivo de trigo (Adaptado de Cálculo de Requerimientos Nutricionales <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>).

Nutriente	Requerimiento/t de grano	IC	Extracción/t de grano
N	30	0,69	18
P	5	0,8	3
K	19	0,21	3
Ca	3	0,14	0,4
Mg	4	0,63	2
S	5	0,34	1,5

Nitrógeno en las plantas

Los nutrientes del suelo son frecuentemente factores limitantes para el crecimiento de los cultivos. El conocimiento de su dinámica de acumulación, de sus requerimientos y de sus roles en la determinación del rendimiento es clave para alcanzar una producción alta, eficiente y sostenible (Gasser y Thorburn, 1972). Después del agua, el N constituye el principal factor limitante de la productividad del cultivo (Correndo y García, 2016), debido a las grandes cantidades requeridas por los cultivos y a la frecuencia con que se observan sus deficiencias en los suelos (Echeverría y Sainz Rozas, 2005). Entre los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas el N es considerado el más importante, por ser el que se encuentra en mayor proporción, 1 a 3 % con respecto a su materia seca, dependiendo de la especie, de la etapa fenológica, del órgano, etc. (Cardenas-Navarro et al., 2004).

El N forma parte de las proteínas, y es el constituyente principal de la clorofila, molécula necesaria en la fotosíntesis. La falta de N reduce por lo tanto la tasa fotosintética. Para alcanzar una producción alta y eficiente, los nutrientes no deben limitar el establecimiento de la capacidad fotosintética del cultivo, determinada por el área foliar y la eficiencia del aparato fotosintético para asimilar el dióxido de carbono (Abbate y Andrade, 2015). Una baja disponibilidad de nutrientes se traducirá en una menor área foliar, resultando en una menor captación de luz y menor eficiencia en la

fotosíntesis que disminuirá el crecimiento del cultivo, reduciendo el número y peso de granos afectando en manera negativa el rendimiento. En trigo esta disminución en el área foliar puede atribuirse, además de la disminución en el crecimiento de las hojas, a una caída en la producción de macollos (Novoa y Loomis, 1981). Este menor número de macollos resulta en un menor número de espigas potenciales, por lo que el cultivo tendrá un menor número de granos potenciales, que es el principal constituyente del componente de rendimiento. En trigo se han encontrado evidencias de que las deficiencias de N durante el período de determinación del número de granos, no sólo afectan a este último por un menor crecimiento del cultivo, sino también por una menor fertilidad de las espigas (Abbate et al., 1995).

Además de afectar el rendimiento, la disponibilidad de nutrientes (especialmente N), afecta componentes de calidad, como el contenido de proteína en granos, importante en la industrialización del trigo, ya que el contenido de proteínas determina el volumen de pan obtenido.

Métodos de diagnóstico de la fertilización nitrogenada

El diagnóstico de la fertilización nitrogenada en trigo se basa en la combinación de análisis de suelos y análisis de planta en diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Estos métodos permiten estimar la disponibilidad de N en el suelo y evaluar el estado nutricional del cultivo, proporcionando información clave para la toma de decisiones en fertilización (Correndo y García, 2016). En el Sudoeste Bonaerense, debido a los bajos niveles de materia orgánica (MO) de los suelos, es necesario realizar un buen diagnóstico de la fertilidad y luego el cálculo de las necesidades de fertilización (Loewy et al., 2015). La figura 5 resume los métodos y los momentos para realizar el diagnóstico de fertilización nitrogenada.

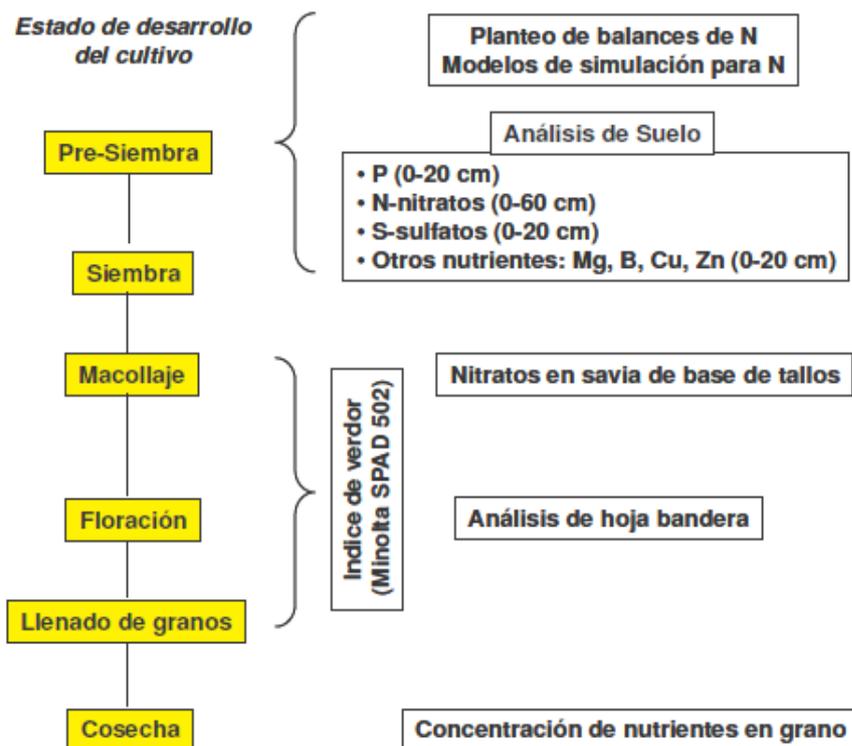


Figura 5: Diagnóstico para la fertilización nitrogenada en trigo. (Fuente: Abbate et al., 2006).

El análisis de suelos es la principal herramienta para estimar la oferta de nutrientes en el suelo, ya que es la principal fuente de nutrientes para las plantas. Este proceso consiste en extracciones químicas y bioquímicas que permiten determinar la disponibilidad de N y predecir la respuesta a la fertilización. En ambientes semiáridos, la alta variabilidad climática hace necesario ajustar el diagnóstico a lo largo de todo el ciclo del cultivo (Berardo, 1994).

Por otro lado, el análisis de planta permite una actualización del diagnóstico nutricional en etapas posteriores del cultivo. Este método evalúa el contenido de nutrientes en los tejidos vegetales y se utiliza para detectar deficiencias, interacciones entre nutrientes y diferencias espaciales dentro del lote. Una de las herramientas más utilizadas en este sentido es el índice de verdor (IV), que relaciona la concentración de clorofila en las hojas mediante dispositivos como el medidor de clorofila Minolta SPAD 502 (Satorre et al., 2003) con la intensidad del color verde reflejado. Este es un método de medición indirecto. Los métodos de medición directos, como contenido

de N en grano permiten relacionar de manera directa el estado nutricional del cultivo. Estos llevan más tiempo para realizarse y son más costosos.

La combinación de estas metodologías permite un diagnóstico integral de la fertilización nitrogenada en trigo, optimizando la toma de decisiones y maximizando el rendimiento en ambientes semiáridos.

Fertilización nitrogenada

El N aportado por fertilizantes es el principal elemento mineral absorbido por las plantas e interviene en procesos fisiológicos esenciales para su crecimiento y desarrollo. Se estima que aproximadamente el 44 % del incremento en el rendimiento de los cereales, observado entre 1961 y 1990, fue debido al uso de N (Cárdenas-Navarro et al., 2004).

Una baja disponibilidad de N produce una reducción de la eficiencia de conversión de la radiación interceptada, del índice de área foliar y de su duración lo cual afecta el peso seco de las espigas a floración, variable altamente relacionada con el número de granos, principal componente del rendimiento del trigo (Abbate et al., 1994). Considerando que el sur bonaerense participa con el 30% de la producción nacional de trigo (SAGPyA, 2006), la fertilización nitrogenada es una práctica de manejo necesaria para alcanzar elevados rendimientos.

López et al. (2002) determinó que el trigo con fertilización presenta una acumulación mayor de N en toda la planta, como consecuencia la fertilización incrementó la concentración de proteína en grano.

El contenido de proteína en grano es uno de los principales indicadores de calidad del trigo. El mismo está afectado por la disponibilidad de N en el suelo, aunque de un modo complejo (Figura 6). De manera simplificada el efecto del N disponible podría dividirse en tres fases (Stone y Savin, 1999). Cuando la disponibilidad de N es baja, el agregado de N incrementa principalmente el rendimiento y no afecta el nivel de proteína o provoca disminuciones debido a un “*efecto dilución*” (Fase 1). Cuando la disponibilidad del nutriente aumenta, se incrementan simultáneamente el rendimiento y proteína (Fase 2); y finalmente, con alta disponibilidad de N, el rendimiento alcanza un plateau, mientras que la concentración de proteína continúa aumentando hasta estabilizarse (Fase 3). Por ello, para obtener niveles de proteína adecuados (11% o más) es determinante disponer de una oferta adecuada de N y apuntar a Fase 2

avanzada, que es cuando tenemos la principal oportunidad de incrementar el contenido proteico. (Correndo y García, 2016).

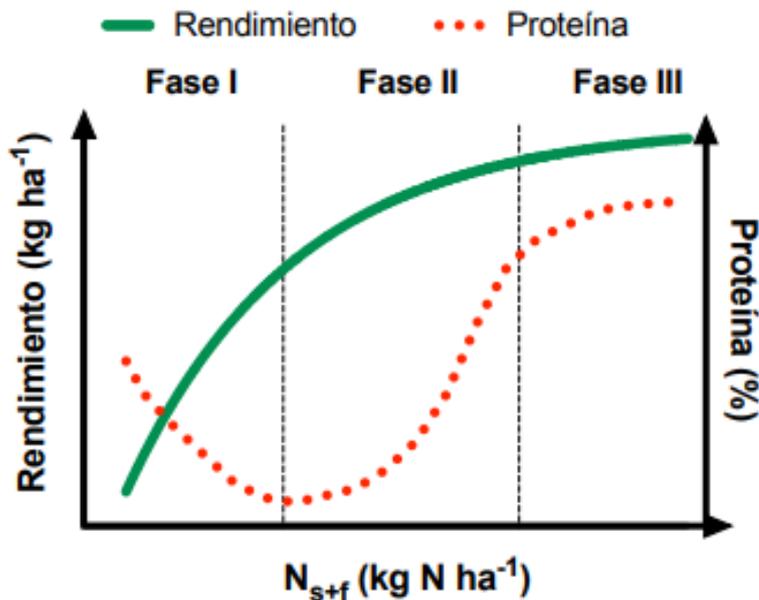


Figura 6: Rendimiento y proteína en grano en función del nivel de N disponible en el suelo (s) más el fertilizante (f) (Correndo y García, 2016).

Respecto al momento de aplicación, los requerimientos de N son mayores a partir del fin de macollaje, por lo que el nutriente debe estar disponible para ser absorbido por el cultivo en ese momento. Los resultados de las evaluaciones de distintos momentos de aplicación difieren según las condiciones climáticas del año, la zona y los niveles de producción. En condiciones de inviernos de bajas precipitaciones, frecuentes en gran parte de la región triguera argentina, las aplicaciones a la siembra han resultado en una eficiencia de uso del N igual o mayor que la de las aplicaciones al macollaje (Baumer, 1996; Melchiori y Papparotti, 1996; Díaz Zorita, 2000). En el sudoeste de Buenos Aires, Ron y Loewy (2000) reportaron mayores eficiencias de uso de N con aplicaciones divididas (siembra y macollaje). Cuando se utilizan dosis elevadas de N, para cultivos de rendimientos superiores, debería considerarse la aplicación dividida de N (García, 2014).

Determinación de la dosis de N

El concepto central del manejo responsable de nutrientes es realizar, para cada situación específica, un diagnóstico nutricional que permita la aplicación de la “fuente” correcta de nutrientes en la “dosis” correcta, en el “momento” correcto y en la “forma” correcta (Correndo y Garcia, 2016).

Para calcular la dosis en nutrientes móviles, como es el N, se utiliza el método de balances, ya que no tiene sentido realizar construcciones de fertilidad como en nutrientes poco móviles, por lo que se cuantifica cuantos nutrientes salen del suelo durante el ciclo del cultivo y deberían reponerse a este. Un modelo aceptado para calcular la dosis de N correspondiente es la propuesta por García (1994).

$N_f = (N_p + N_g + N_l + N_e + N_{iin} + N_{if}) - (N_a + N_{om} + N_{ii});$ siendo:

N_f = N aportado por el fertilizante.

N_a = N aportado por fijación biológica y/o lluvias.

N_{om} = N orgánico mineralizado.

N_{ii} = N inorgánico inicial.

N_p = N absorbido por la planta.

N_g = N perdido en formas gaseosas (N_2 , N_2O o NH_3).

N_l = N perdido por lavado.

N_e = N perdido por erosión.

N_{iin} = N inorgánico inmovilizado.

N_{if} = N inorgánico final.

El N_a no es significativo en cereales y otras no leguminosas y el N_{if} debe ser minimizado. Para facilitar el cálculo las pérdidas por lavado, erosión y gaseosas son estimadas como un porcentaje de N disponible como fertilizante, inorgánico inicial y mineralizado durante el ciclo o simplemente se estima una eficiencia media de uso de N disponible para que incluya estas pérdidas. (García y Daverede, 2007).

Tomando en cuenta estas consideraciones los elementos que más importancia se les da al momento de realizar un balance simplificado de N son el absorbido por el cultivo, que dependerá del rendimiento buscado y el nivel en el suelo.

Hipótesis

- La fertilización nitrogenada incrementa el rendimiento en el cultivo de trigo, y los componentes de calidad del mismo, dependiendo de las condiciones meteorológicas de cada año.
- La respuesta a la fertilización depende de la dosis y del momento de aplicación, siendo dependiente también de la disponibilidad de agua.
- La aplicación de N fraccionada en siembra y en macollaje podría ser más eficiente que la aplicación en un solo momento, siempre que las condiciones hídricas sean favorables.

Objetivo general

- Estudiar la variación de la producción y calidad del trigo en dos campañas contrastantes sucesivas de cultivo de trigo en el SOB.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación de N en la producción la calidad en trigo en dos campañas diferentes
- Evaluar si la respuesta a la fertilización depende de la dosis y al momento de aplicación.
- Evaluar si la aplicación de N fraccionada resulta más eficiente que la aplicación en un solo momento.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El ensayo se realiza en Chacra Experimental Napostá (Convenio MDA-UNS), ubicado en Colonia Napostá, a unos 35 km de la ciudad de Bahía Blanca sobre la ruta nacional N°33. En la figura 7 se detalla la ubicación del predio. En el mismo se lleva a cabo un ensayo de larga duración (ELD) desde el año 2009.

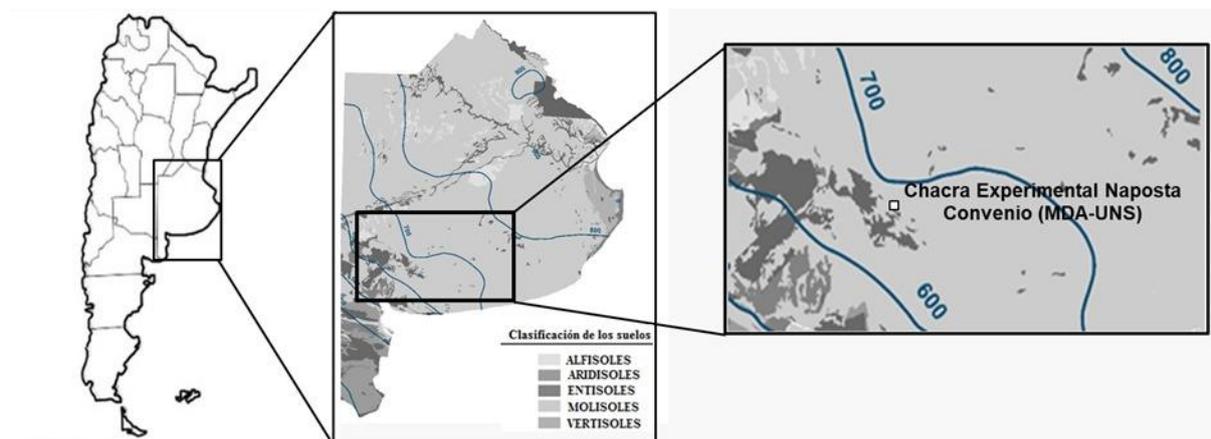


Figura 5: Ubicación del sitio de ensayo en Chacra Experimental Napostá.

El sitio presenta un paisaje plano, con algunas ondulaciones dándole pendiente en ciertos sectores. El lote en estudio presenta una pendiente del 2,7%, y una profundidad efectiva que varía entre 80 y 100 cm. El edafoclima es ústico-térmico (Amiotti et al., 2010). La precipitación promedio anual en la zona es de 560 mm (media 1860-2006), concentrándose dos terceras partes en otoño (pico principal) y primavera. Se registra una estación seca a fines del invierno y una semiseca a mediados de verano (enero y febrero). En esos meses la evapotranspiración potencial más que duplica las precipitaciones (Scian, 2010), lo que constituye una limitación muy difícil de sortear para la realización de cultivos de verano.

El ensayo, comenzado en 2009 consta de un monocultivo de trigo, donde previamente el lote era utilizado para la producción bovina sobre pastizales naturales, en el que se proporciona distintas dosis de N (0, 40 kg/ha y 80 kg/ha) aplicados en distintos estados fenológicos del cultivo, una aplicación a la siembra/emergencia del cultivo, una aplicación al macollaje y un tratamiento restante donde se dividió la dosis aplicada en ambos estadios, como detalla la tabla 4:

Tabla 4: Estructura de tratamientos para el ensayo

Tratamiento	Dosis total (kg N/ha)	Momento de aplicación	
		Emergencia	Macollaje (Z2.5)
1	0	0	0
2	40	40e	0
3	80	80e	0
4	40	0	40m
5	80	0	80m
6	80	40	40

El diseño experimental utilizado en el ensayo fue de bloques al azar, conteniendo cada bloque una repetición de cada tratamiento, con parcelas de 60m². El número de bloques fue de 4, obteniendo 4 repeticiones de cada tratamiento. Los bloques presentan una leve variación de la profundidad efectiva acompañando la pendiente de la ladera, donde en la parte superior de la misma la profundidad efectiva es de 80 cm, llegando al metro de profundidad en los bloques restantes (Vittori et al., 2017).

Para la preparación del barbecho en el año 2022 se realizó una aplicación en febrero con 1,5 L/ha de glifosato, 0,4 L/ha de 2,4-D y 0,15 L/ha de dicamba. Posteriormente se realizó una segunda aplicación, el 27 de mayo (una semana antes de la siembra) con 1,3 L/ha de glifosato, 0,3 L de 2,4-D y 6 g/ha de metsulfurón. La siembra se realizó el 8 de junio, se utilizaron semillas del cultivar SY 109 (Buck) con una dosis de siembra de 75 kg/ha. Al momento de la siembra se aplicaron 40 kg/ha de fosfato diamónico (18-20-0, grado).

En el año 2023 la siembra se realizó el 4 de agosto. Se sembraron semillas del cultivar *Pehuén* con una dosis de siembra de 70 kg/ha. En la siembra se aplicaron 60 kg/ha de fosfato diamónico.

En madurez fisiológica (Z90) del cultivo para cada campaña se realizó la cosecha de material vegetal. Se cosecharon en forma manual 4 m lineales de trigo. Sobre las muestras obtenidas se determinó biomasa aérea y se contabilizaron las espigas por metro cuadrado. Las espigas fueron trilladas separándose los granos, con lo que se calculó el rendimiento del cultivo. Con el rendimiento y la biomasa aérea es posible calcular el índice de cosecha (IC), dividiendo rendimiento por biomasa aérea total. Sobre los granos se calculó el peso de mil granos (P1000), mediante la contabilización

de 100 semillas y pesaje, con 4 repeticiones en cada tratamiento. Además, se calculó el PH con el método de balanza de Schopper. Finalmente, se determinó el contenido de N en granos mediante el método Kjeldahl. Con el valor de N fue posible calcular la proteína en grano, multiplicando el valor por 5,75. En la tabla 5 se detallan las variables determinadas, con sus siglas, unidades y determinación.

Tabla 5: Variables determinadas en el ensayo.

VARIABLE		ABREVIATURA	UNIDAD	DETERMINACIÓN
BIOMASA TOTAL	AEREA	MSta	kg/ha	Cosecha y pesaje de 4 m lineales
NUMERO DE ESPIGAS POR M²		Esp m ⁻²	Espigas/m ²	Cosecha y conteo en 4 m lineales
RENDIMIENTO		REND	kg/ha	Cosecha y pesaje de 4 m lineales
INDICE DE COSECHA		IC	-----	REND/MSta
PESO DE MIL GRANOS		P1000	g	Conteo y pesaje de granos
PESO HECTOLITRICO		PH	%	Balanza de Schopper
NITROGENO GRANOS	TOTAL	Nt (%) grano	%	Kjeldahl
PROTEINA		PROT	%	Nt (%) grano * 5,75

Análisis de datos

Se utilizó estadística descriptiva: media, coeficiente de variación (CV), valores mínimos y máximos, mediana, cuartil 1 (Q1) y cuartil 3 (Q3). Por otro lado, se realizó análisis de la varianza (ANOVA) para estudiar el efecto de las fuentes de variación (año y tratamiento), acompañado de comparación de medias por diferencia mínima significativa de Fisher al 5% (DMS). Se realizaron regresiones lineales simples entre REND y N cosechado (Ncos) por el grano con la cantidad de N aplicado. Para calcular el Ncos se utilizó la concentración de N en el grano y se lo convirtió en masa, relacionándolo con el total producido. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

Resultados y discusión

Caracterización meteorológica de las campañas 2022 y 2023

La distribución y cantidad de precipitaciones fueron contrastantes en ambas campañas, registrando 595 y 352 mm para 2022 y 2023, respectivamente (Figura 8). Ambas campañas presentaron precipitaciones abundantes en el primer semestre por encima de la necesidad teórica del trigo (NC, Paoloni y Vazquez, 1985). En cambio, para la campaña 2023, se observó un déficit en la provisión de agua durante el ciclo del cultivo. Lo que corresponde al periodo crítico del cultivo, en relación a la producción y calidad, se evidenció precipitaciones por debajo de la NC, más acentuadas en la campaña 2023. Es importante remarcar, que las precipitaciones de octubre para esta región son definitorias para la producción y calidad del trigo (Martínez et al., 2015).

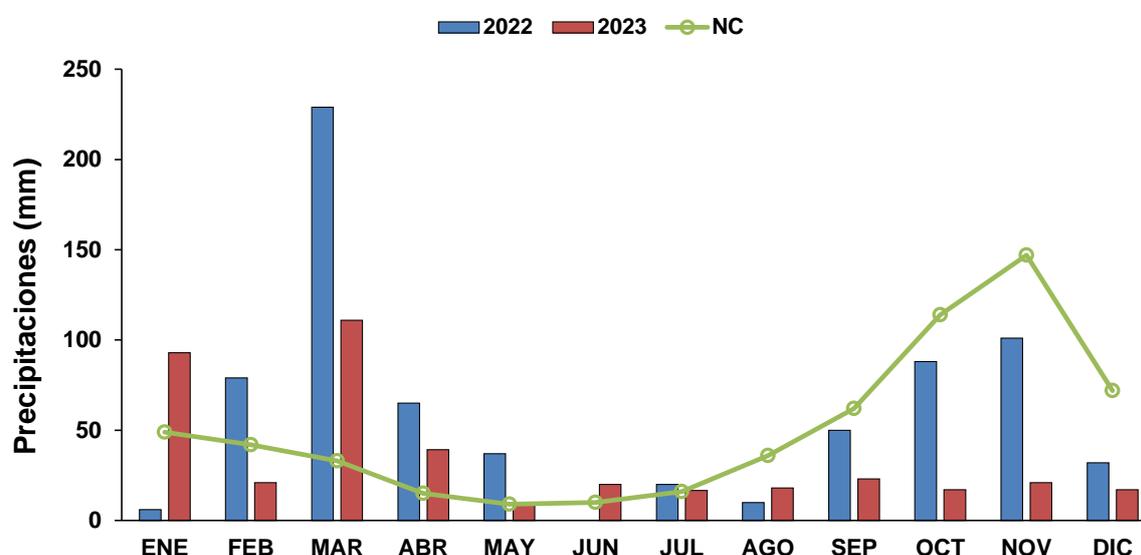


Figura 6: Distribución de las precipitaciones de ambas campañas (2022 y 2023) en la estación meteorológica Napostá comparadas con la necesidad teórica del cultivo (NC).

En la Tabla 6 se puede observar la disponibilidad de N (N-nitratos + N-amonio) y la humedad gravimétrica (HG), al momento de la siembra del cultivo, para los primeros 60 cm de profundidad del suelo en el testigo y uno de los tratamientos con mayor dosis de N.

En cuanto a la humedad, se encontraron valores cercanos a la capacidad de campo de esos suelos al momento de la toma de muestra en 2022, debido a las abundantes

precipitaciones ocurridas durante el primer semestre. En 2023, al momento de la siembra la HG ya bajó considerablemente, acercándose al PMP de esos suelos. En el caso de la disponibilidad de N a la siembra, podemos observar una notable diferencia según el manejo del cual provienen (testigo y parcelas fertilizadas anualmente con 80 kg N ha⁻¹ en macollaje). Es importante remarcar que este estudio, se lleva a cabo en un ELD comenzado en 2009 y en donde podría verse un efecto acumulado de la fertilización nitrogenada continua. Sin embargo, la mayor cantidad de N inorgánico en las parcelas con mayor dosis de N puede remitir a plazos más cortos.

Tabla 6: Disponibilidad de N (kg ha⁻¹) y humedad (%) en los primeros 60 cm del suelo

Fecha muestra	Campaña	N disponible (kg ha ⁻¹) 60 cm		Humedad (%) 60 cm	
		Testigo	Fertilizado (80 m)	Testigo	Fertilizado (80 m)
Siembra	2022	199,8	254	16,8	18,2
Siembra	2023	205,2	421,8	12,2	12,5

Estadística descriptiva

La estadística descriptiva, sin agrupar por tratamiento o bloques para cada campaña se presenta en la Tabla 7. Para 2022, la mayor variabilidad (CV) se observó en MSta, REND y PROT con valores que variaron entre el 13 y 15%. Los resultados obtenidos tuvieron una dispersión de datos impuesta principalmente por los bloques y los diferentes tratamientos.

La producción del 2022 (MSta y REND) fue elevada con respecto a datos regionales (López et al., 2017), mientras que la proteína registró valores por encima de la norma de comercialización para bonificar. En cambio, en 2023 la producción de MSta y REND cayó abruptamente y se generó el efecto de dilución resultando en un elevado tenor proteico promedio. Este alto tenor proteico es un claro ejemplo del efecto de dilución ocasionado por la baja producción en concordancia a lo hallado por otros trabajos (Loewy, 1990; López-Bellido et al., 2000; Garrido-Lestache et al., 2004). Gooding & Davies (1997) encontraron incrementos en el tenor proteico en condiciones de sequía o bajas precipitaciones al igual que en este estudio. Especialmente los

déficits en períodos críticos del cultivo como durante el periodo de llenado de granos son de gran importancia en la removilización de N al grano según lo informado por Angus & Fisher (1991).

Los coeficientes de variación de los resultados (CV) oscilaron desde 2% para el PH hasta 14% en REND y Nads (Tabla 7). Estas variaciones fueron dadas principalmente por los efectos de los diferentes tratamientos y bloques. Con respecto a la media y a la mediana fueron muy cercanas en todas las variables, dando como resultado una distribución simétrica.

Como se observa el rendimiento promedio del ensayo fue de 4317 kg ha⁻¹, siendo el mismo un mucho más alto que el promedio histórico zonal de 1600-1900 kg ha⁻¹ (López et al., 2014). El PMIL fue de 39, valor que coincide con las evaluaciones de cultivares en INTA Ascasubi en las campañas 2012-2015 (Vanzolini & Logiúdice, 2016). El PH de 78 lo posiciona en un trigo de calidad Grado 2 según la norma de comercialización de trigo pan, aunque tenemos un mínimo de 74 que pertenece a Grado 3, y hasta un máximo de 82,2 del Grado 1. El valor medio de proteína fue de 11%, como el valor base de la norma de comercialización, llegando a tener valores por encima de 13, y un mínimo de 9,9%.

Tabla 7: Medidas resumen de las variables medidas.

Año	Variable	Media	D.E	CV	Mín	Máx	Q1	Q3
2022	MSta	9766	1339,88	13,72	7400	12314	8829	10486
	REND	4317,33	548,54	12,71	3330	5348	3934	4653
	IC	0,44	0,02	3,84	0,4	0,49	0,43	0,45
	Esp m ⁻²	422	64,69	15,3	300	526	374	462
	PH	77,52	1,81	2,33	73,4	81,18	76,6	78,23
	PROT	11	1,55	13,22	8,1	15,2	11	12,7
	P1000	29,89	2,27	7,59	26,43	35,35	27,35	30,9
2023	MSta	2992	519,3	17,35	2000	4029	2657	3371
	REND	972	190,74	19,63	657	1365	829	1085
	IC	0,33	0,04	12,06	0,24	0,39	0,31	0,34
	Esp m ⁻²	253	54,39	21,45	174	411	231	263
	PH	37	1,99	5,28	34,45	41,8	36,24	39,07
	PROT	16,56	3,55	21,43	9,5	22,1	13,6	18,8
	P1000	21,32	1,43	6,71	18,95	25,65	20,7	21,65

Ver Abreviaturas y unidades en Tabla 5.

Efecto del momento y dosis de la fertilización

Como se indicó anteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA) doble, de acuerdo al año y tratamiento. Las variables MSta, REND, IC, esp m⁻² y P1000 no mostraron interacción entre tratamiento y año ($p > 0,05$), es decir, las respuestas no variaron según el año, aunque si se hallaron diferencias significativas entre años. Se halló interacción significativa ($p < 0,05$) en los parámetros de calidad: PH y PROT. Por esta razón, para estos parámetros se analizó el efecto de los tratamientos para cada campaña evaluada.

En el caso de MSta la comparación de medias mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre 2022 y 2023 (Figura 9), siendo muy superior para el primero, también encontrándose diferencias entre los tratamientos, siendo mayor la producción con dosis mayores de N (80e y 80m).

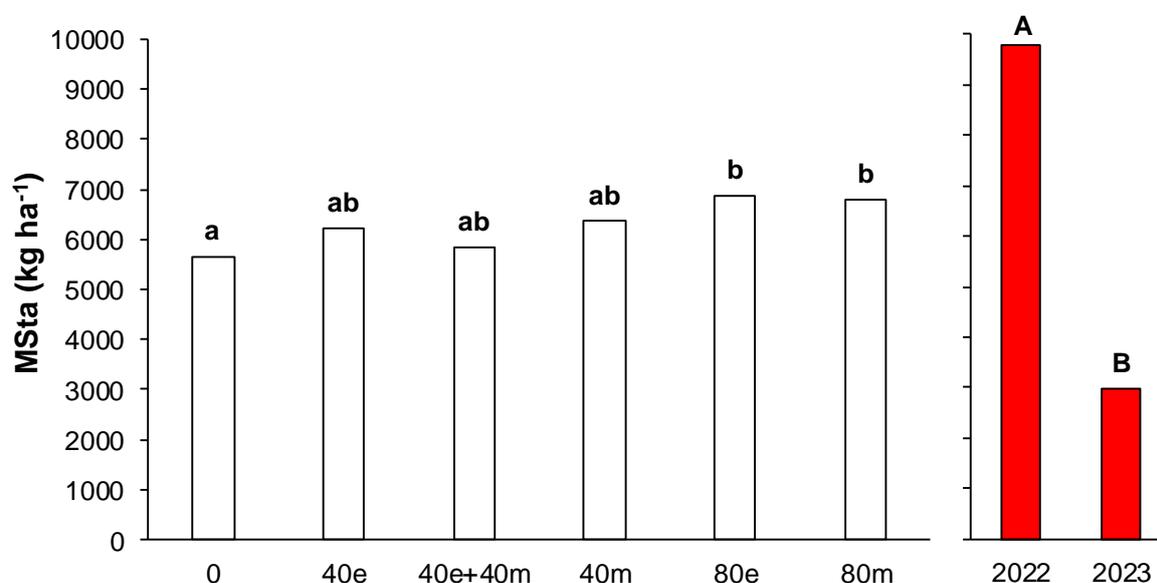


Figura 7: Comparación de medias para MSta (kg ha⁻¹) según tratamiento y año. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para todas las figuras.

Para REND, la figura 10 muestra que se encontraron diferencias significativas entre años siguiendo la misma tendencia hallada en MSta, siendo superior en la campaña 2022. A nivel de tratamientos, no se obtuvieron diferencias entre los tratamientos.

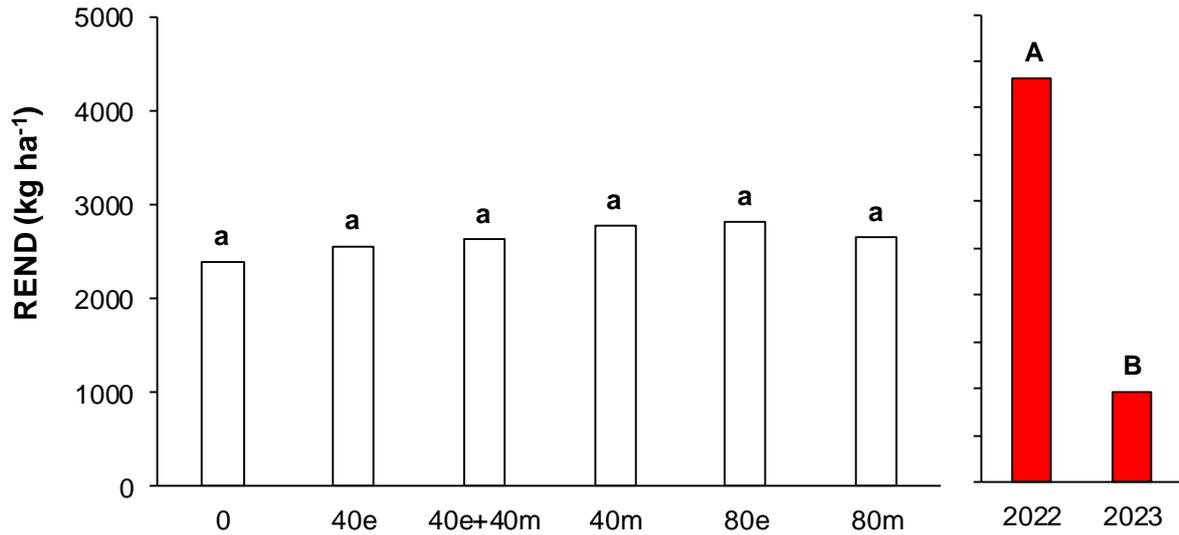


Figura 8: Comparación de medias para Rendimiento (kg ha⁻¹) según tratamiento y año.

En cuanto al IC, el valor hallado fue superior al 0,30 esperado para trigo. La comparativa entre medias mostró diferencias entre años (figura 11), pero no halló efectos significativos de la dosis y momentos de aplicación.

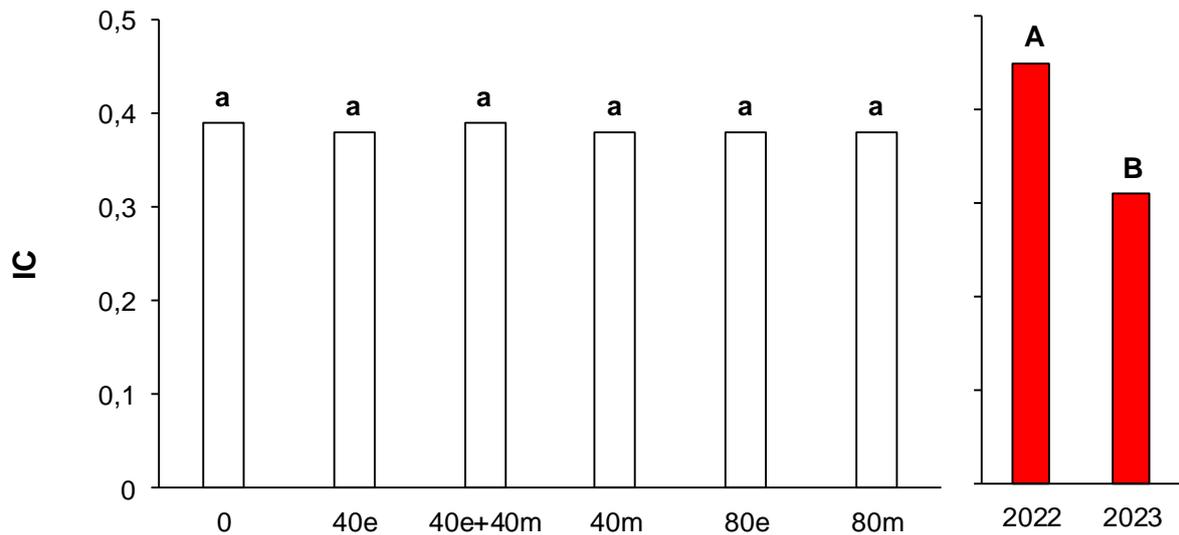


Figura 9: Comparación de medias para IC según tratamiento y año.

En el caso de esp m⁻², al realizar la comparación de medias se detectaron diferencias entre los años, siendo mayor la producción en el año 2022. Por otro lado, los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí (figura 12).

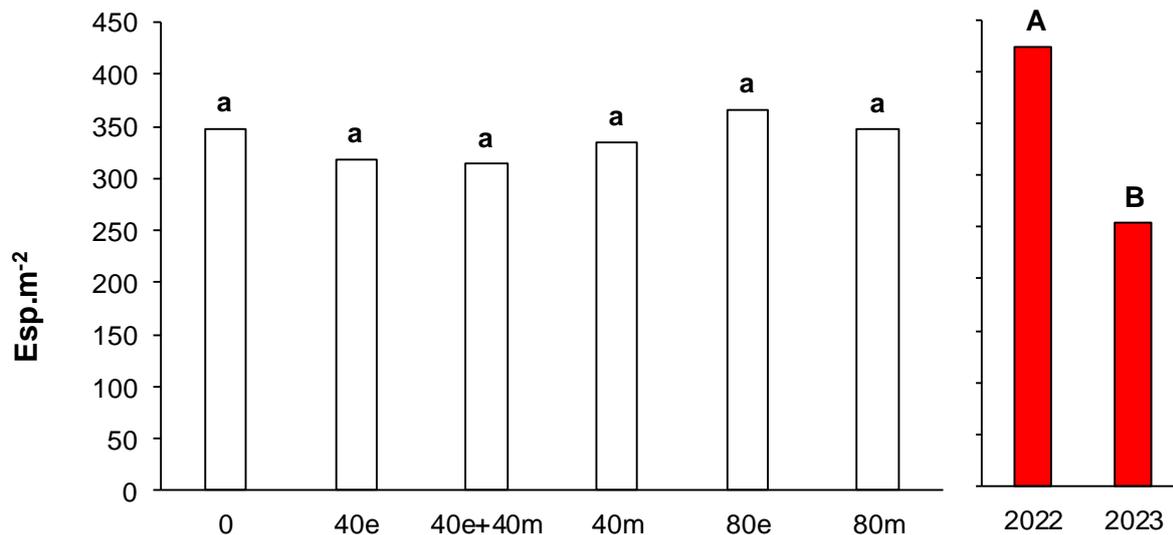


Figura 10: Comparación de medias para Esp m⁻² según tratamiento y año.

Al analizar la variable P1000, en la comparación de medias se observó diferencias entre los años, siendo mayor en el año 2022 (figura 13). En el caso de los tratamientos no se encontraron diferencias significativas. El mayor valor de P1000 en 2022, posiblemente esté atribuido a las condiciones meteorológicas generadas durante el estadio de llenado de grano del trigo (Z7.0-Z7.9) (Figura 8).

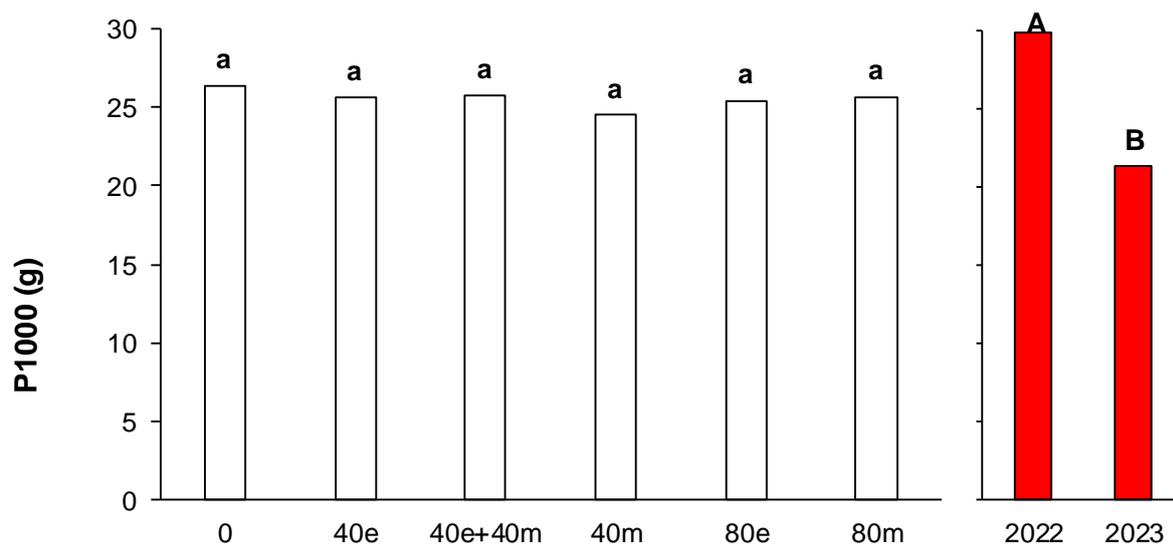


Figura 11: Comparación de medias para el peso de mil granos (P1000) según tratamiento y año.

Para los componentes de calidad de grano, PROT y PH, se llevó a cabo el análisis de los tratamientos para cada campaña. La comparación de medias de cada año para PH mostró diferencias significativas entre tratamientos en ambos años (figura 14).

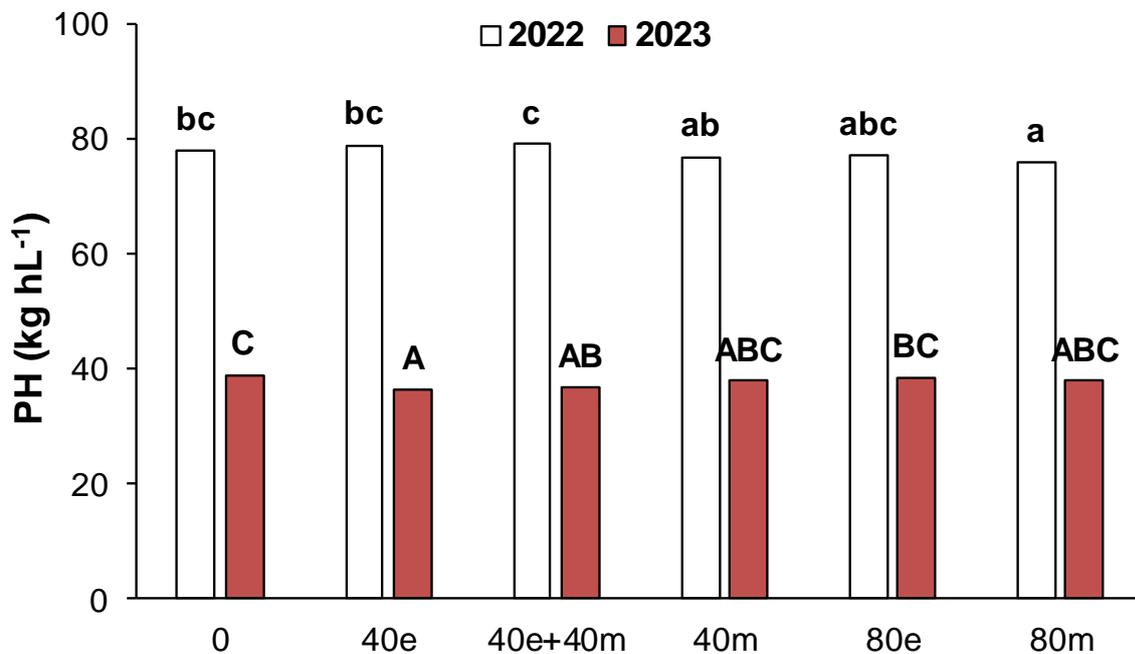


Figura 12: Comparación de medias para peso hectolítrico (PH) (kg hL⁻¹) por tratamiento y año.

Durante 2022, en PROT no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,42$). En el año 2023 si se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, permitiendo agrupar a los tratamientos según su respuesta a la fertilización, que se puede observar en la figura 15.

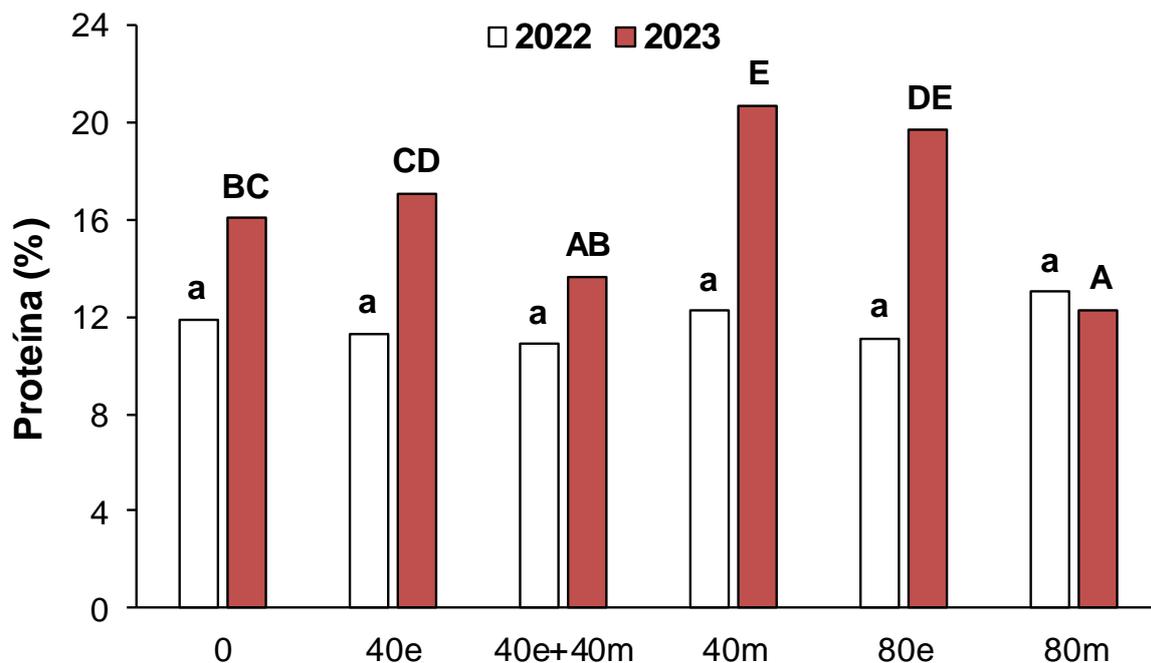


Figura 13: Comparación de medias para PROT (%) por tratamiento y año.

Eficiencias de N

Los resultados del efecto de dosis y época de aplicación sobre REND y N cosechado (Ncos) por el cultivo se muestran en las figuras 16 y 17, 18 y 19 para las campañas 2022 y 2023, respectivamente. Se ajustó un modelo lineal y meseta de estas variables en función de la dosis del nutriente aplicado, estableciendo como XL, donde se incrementaba el grado de ajuste del modelo.

En la Figura 16 se puede ver la fase lineal de respuesta del rendimiento a la fertilización para dosis menores a 72 kg ha^{-1} . La pendiente de la recta constituye una estimación de la eficiencia agronómica del ensayo (EAGR), siendo $7,8 \text{ kg grano por kg de N aplicado}$, siendo bajo este valor, en comparación a eficiencia registradas en la zona de estudio (Martínez et al., 2015). Esta EAGR se encuentra por debajo de la relación de precio histórica para trigo y urea ($R=8$), por lo que, si bien no se realizó el análisis económico, teniendo en cuenta ese valor, podría sugerir que la fertilización nitrogenada no sea rentable para el margen bruto.

La relación obtenida en el N cosechado en función de la dosis de N aplicada (figura 17) permitió una estimación de la eficiencia de recuperación del fertilizante (EREC), siendo este valor la pendiente de la curva, con un valor de $0,16 \text{ kg de N absorbido por kg de N aplicado}$, con respuesta lineal hasta 71 kg ha^{-1} de N aplicados.

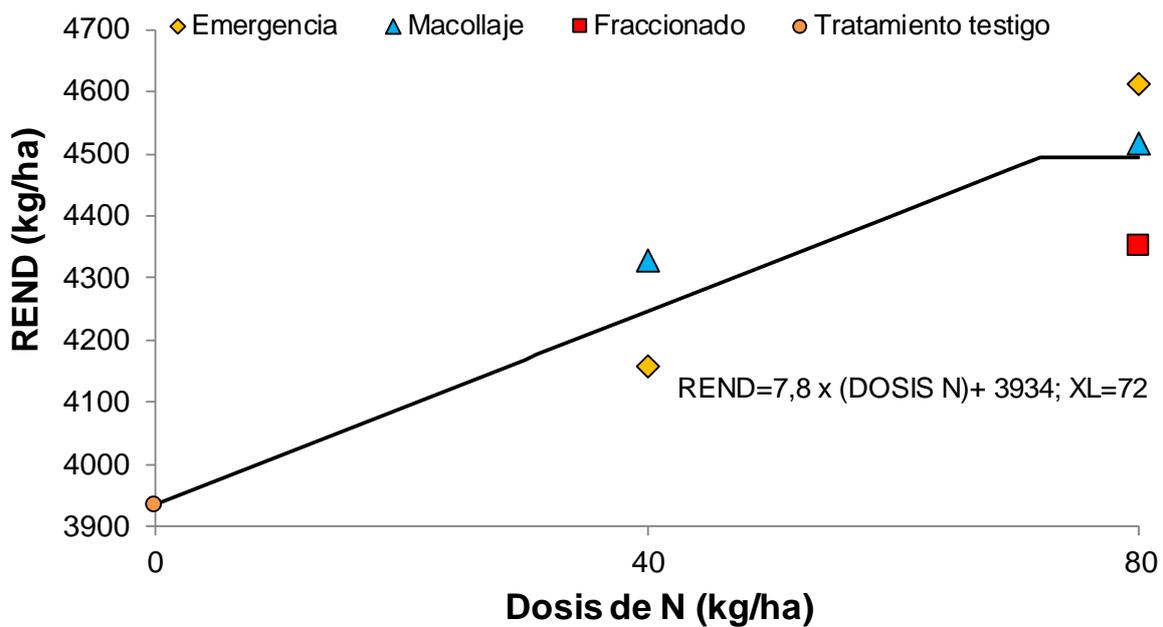


Figura 14: Rendimiento (REND) en función de la dosis y momentos de aplicación de N en el año 2022.

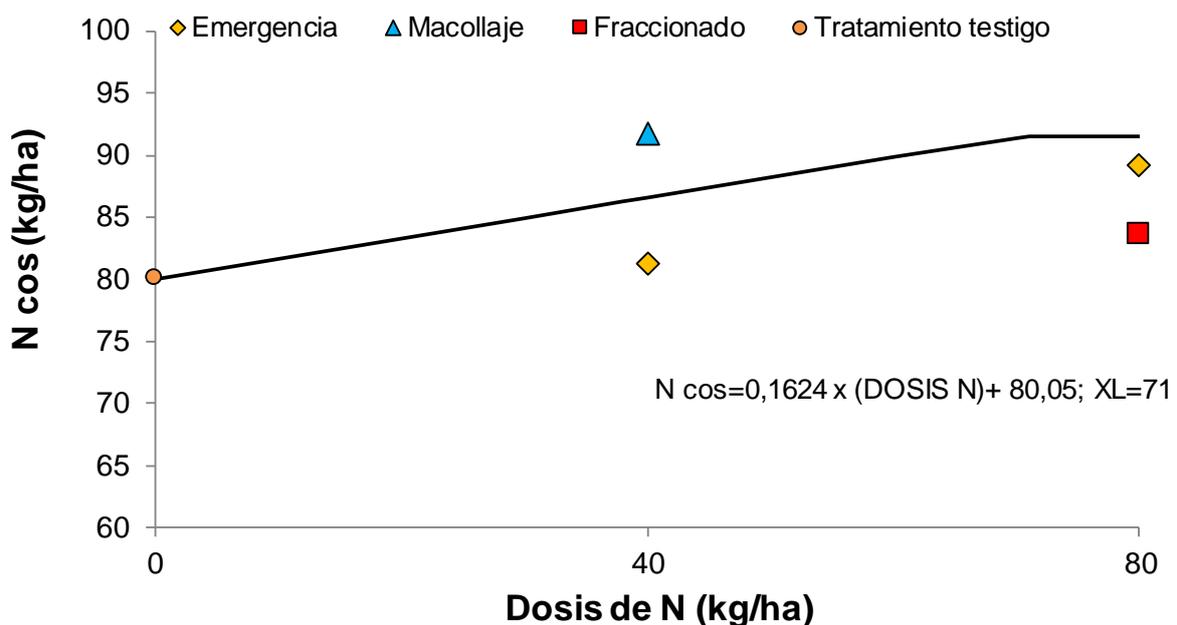


Figura 15: Nitrógeno cosechado (Ncos) en función a la dosis y momentos de aplicación de N en el año 2022.

Para el año 2023 los resultados se muestran en las figuras 18 y 19. La figura 18 muestra una respuesta lineal del REND hasta la dosis de 69 kg ha⁻¹ de N aplicado, donde luego se ameseta el REND aumentando la dosis de N. La EAGR estimada por

la pendiente de la curva es de 2,2 kg de grano por kg de N aplicado. La EREC estimada con la relación de N cos en función a la dosis aplicada resultó en 0,12 kg de N absorbido por el cultivo por kg de N aplicado, teniendo una respuesta lineal hasta una dosis de 38 kg ha⁻¹. Estos valores se sitúan por debajo de los hallados en 2022, posiblemente atribuido a las condiciones meteorológicas donde se acentuó la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo.

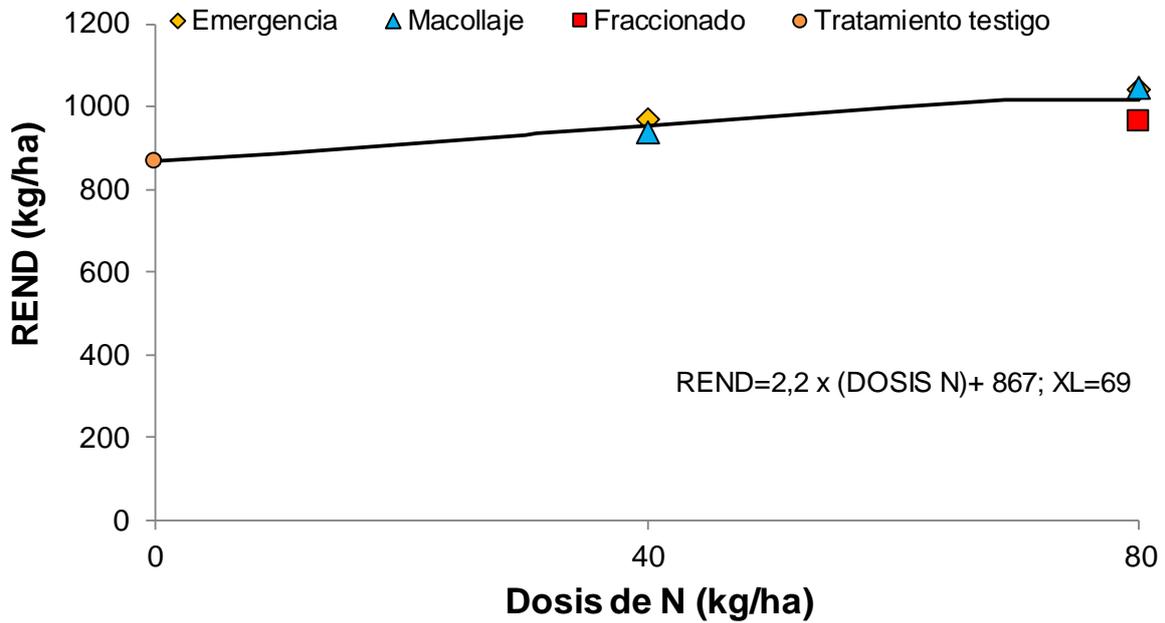


Figura 16: Rendimiento (REND) en función de la dosis y momentos de aplicación de N en el año 2023.

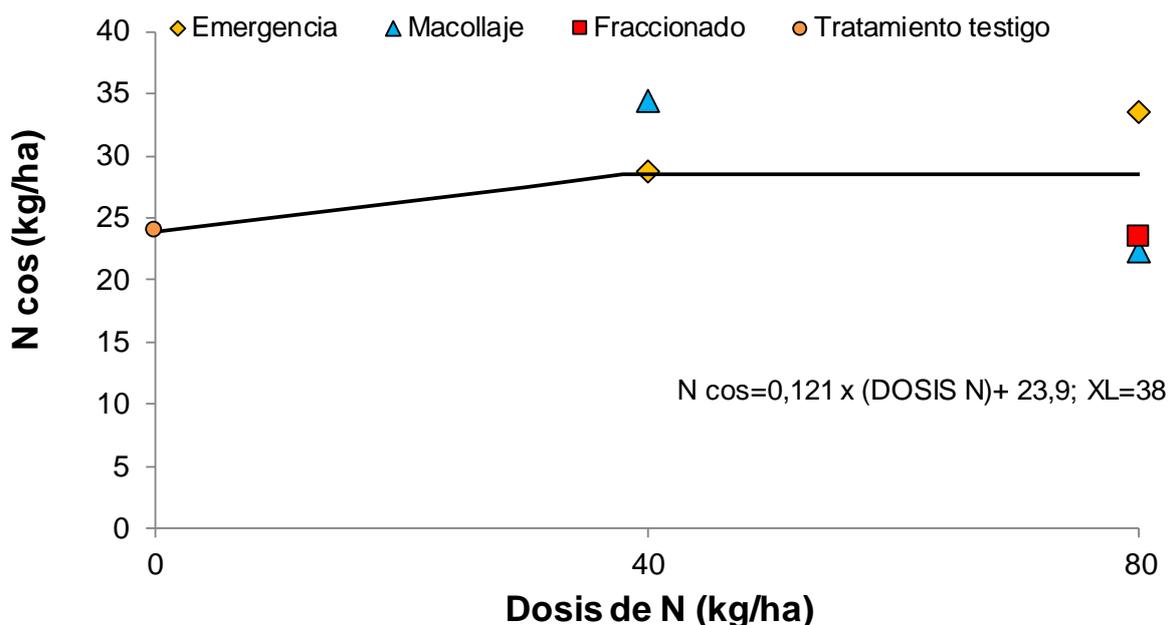


Figura 17: Nitrógeno cosechado (Ncos) en función a la dosis y momento de aplicación de N en la campaña 2023.

Con los valores de EAGR y EREC fue posible calcular la eficiencia fisiológica (EFIS), que indica los kg de grano producido por kg de N absorbido por el cultivo, resultando esta la división entre las dos variables antes mencionadas, obteniendo valores de 49 kg de grano por kg N absorbido en el año 2022. Con este valor es posible estimar el requerimiento del cultivo (REQ), que equivale a 20 kg N por tonelada de grano producido. En el año 2023 la EFIS dio un valor 18 kg de grano por kg N absorbido, correspondiente a 55 kg N por tonelada producida. Es importante destacar que para ambas campañas los REQ estimados se encuentran distantes del valor de 30 kg N/ t grano de trigo citado por Satorre et al. (2003). Estos valores dispares en REQ podrían ser causa de la dispersión de los datos producidos. El detalle de las eficiencias calculadas para ambas campañas se resume en la Tabla 8.

Tabla 8: Eficiencias de nitrógeno y requerimientos estimados para cada campaña evaluada.

Año	EAGR (kg grano/kg N)	EREC (kg N abs/kg N)	EFIS (kg grano/kg N abs)	REQ (kg N/t grano)
2022	7,8	0,16	49	20
2023	2,2	0,12	18	55

Conclusiones

Con respecto a la producción no se detectaron efectos por la dosis y momentos de N, la diferencia fue hallada por las condiciones meteorológicas de cada año. El año con precipitaciones cercanas a la media histórica obtuvo mayores rendimientos. Es posible, que esta nula respuesta a la aplicación y al momento de N se halla generado por la elevada disponibilidad de N al momento de la siembra de cada campaña. En cambio, para calidad si se hallaron respuestas positivas a la aplicación y momento de N. Igual es importante enfatizar que estos efectos difirieron según las características del año evaluado.

En ambas campañas se hallaron bajas EAGR, por lo que habría que llevar a cabo el análisis económico para verificar la rentabilidad de la fertilidad nitrogenada bajo estas condiciones.

En cuanto la dosis fraccionada, no se observaron ventajas en la aplicación de N fraccionada respecto a las aplicaciones únicas, por lo que no se recomendaría esta práctica por el mayor costo operativo.

Bibliografía

Abbate, P., & Andrade, F. H. (2005). Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de granos. *HE Echeverría & FO García*, 43-66.

Abbate, P. E., Andrade, F. H., Culot, J. P., & Gambín, B. L. (2006). Diagnóstico para la fertilización nitrogenada en trigo.

Abbate, P. E., Miralles, D., & Ballesteros, A. (2021). Nuevo mapa de subregiones trigueras argentinas y de otros cereales invernales 2021.

Amiotti, N. M., Blanco M. C., Schmidt, E.S., & Díaz, S. (2010). Variabilidad espacial de los suelos y su relación con el paisaje. In: Paoloni JD, editor. Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca. Bahía Blanca (Argentina): EdiUNS. p. 129-173.

Angus, J.F. & Fisher, R. A. (1991). Grain and protein responses to nitrogen applied to wheat growing on a red earth. *Australian Journal of Agricultural Research* 42:735-746.

Arata, A. F., Rogers, W. J., Tranquilli, G. E., Arrigoni, A. C., & Rondanini, D. P. (2021). ¿Qué factores condicionan la efectividad de la fertilización azufrada para mejorar la calidad panadera en trigo?

Berardo, A. (1994). Diagnóstico de fertilidad nitrogenada en trigo.

Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178.

Cerón Rincón, L. E., & Ancízar Aristizábal Gutiérrez, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.

Correndo, A. & García, F. (2016). Indicadores de fertilidad nitrogenada en sistemas de producción.

D'Angelo, G., Rodríguez Zurro, T., Di Rico, M., & Terré, e. (2023). El aporte fundamental del trigo a la economía argentina. Bolsa de comercio de Rosario.

Recuperado de: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/el-aporte>

Divito, G. A. & García, F. O. (2017). Manual de manejo del cultivo de trigo. Tomado de: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1320>

García, F. O. (1994) Dinámica del nitrógeno en ecosistemas agrícolas Curso Actualización de nutrientes en suelos pampeanos. Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce. 10-12 noviembre 1994.

García, F. O. (2004). Avances en el manejo nutricional de los cultivos de trigo. In *Actas Congreso "A Todo Trigo"*. FCEGAC. Mar del Plata (pp. 13-14).

García, F., & Salvagiotti, F. (2010). Fertilizer best management practices in Argentina with emphasis on cropping systems. *Boas practicas para uso eficiente de fertilizantes*, 1, 111-142.

García Olmedo, F., & Carbonero Zalduegui, P. (1983). Control genético de las proteínas del trigo. *Investigación y Ciencia (Scientific American)*, (81), 96-104.

Garrido-Lestache, E., López-Bellido, R. J., & López-Bellido, L. (2004). Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 85(2):213-236

INASE. (2024). Informe SISA trigo 2023-2024. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-trigo-2023-2024_1.pdf#page=2.10

Loewy, T. (1990). Fertilización nitrogenada del trigo en el Sudoeste bonaerense. I. Respuesta física y diagnóstico. *Ciencia del Suelo* 8:47-56.

Loewy, T., Abbate, P. E., & Andrade, F. H. (2015). Dinámica del nitrógeno en sistemas de producción de trigo.

Loewy, T., & Ron, M. (2008). Evaluación de metodologías para el diagnóstico nutricional en trigo.

López-Bellido, L., López-Bellido, R. J., Castillo, J. E., & López-Bellido, F. J. (2000). Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 92:1054-1063.

López, F. M., Duval, M., Martínez, J. M., & Galantini, J. A. (2014). Fertilización fosfatada en trigo en la zona semiárida: Su influencia sobre el rendimiento y la eficiencia en el uso del N y del agua. En: Galantini JA (ed.). *Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO bonaerense*.

López, S., Guevara, E., Maturano, M., Melaj, M., Bonetto, J. P., Meira, S., & Bárbaro, N. (2002). Absorción de nitrógeno en trigo en relación con la disponibilidad hídrica. *Terra Latinoamericana*, 20(1), 7-15.

Martínez, J. M., Galantini, J. A., & Landriscini, M. R. (2015). Diagnóstico de fertilidad nitrogenada en el sudoeste bonaerense mediante el uso de un clorofilómetro en trigo. *Ci. Suelo* 33: 31-44.

Miralles, D. J., González, F. G., Abeledo, L. G., Serrago, R. A., Alzueta, I., García, G. A., ... & Lo Valvo, P. J. (2014). *Manual de trigo y cebada para el cono sur procesos fisiológicos y bases de manejo*.

Orden, L. (2010). Variabilidad espacial y temporal de fertilidad edáfica en un diseño de bloques. Trabajo final para el grado de ingeniero agrónomo. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Orden, L., Mandolesi, M. E., R., Kiessling, R. J., & Ron M. M. (2011). Variabilidad espacial de fertilidad química del suelo en un diseño de bloques. *Spanish Journal of Soil Science* 1 (1): 54-69.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). Base de datos de la situación alimentaria mundial. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.

Paoloni, J.D. & Vazquez, R. (1985). Necesidades teóricas de los cereales de invierno y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones como base para el balance hídrico. *Anales de Edafología y Agrobiología* XLIX: 1545-1556.

Satorre, E. H., Andrade, F. H., & Sadras, V. O. (2003). Eficiencia de uso de nitrógeno en cultivos de trigo.

Scian, B. (2010). Clima - Bahía Blanca y sudoeste bonaerense. In: Paoloni JD, editor. Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca. Bahía Blanca (Argentina): EdiUNS. p. 29-97.

Servicio Meteorológico Nacional. (2025). Estadísticas climáticas. <https://www.smn.gob.ar/estadisticas>

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2024). *Monitor de estimaciones agrícolas*. <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/monitor/>

Vittori, Álvaro. (2017). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad de grano de trigo. Trabajo final para el grado de ingeniero agrónomo. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.