



***EVALUACIÓN DE DENSIDADES Y FERTILIZACIÓN VARIABLE
BAJO RIEGO EN EL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE
BUENOS AIRES***



- **Autor:** Benjamin Sportelli
- **Tutor:** Ing. Agr. (Mag.) Pablo Paoloni
- **Consejeros:** Ing. Agr. (Dr.) Boris Vercellino
Ing. Agr. (Dr.) Martín Espósito

**Departamento de Agronomía
Universidad Nacional del Sur
Bahía Blanca**

Agradecimientos:

A mis padres, Lorena y Gustavo, por permitirme estudiar y formarme como persona, y por acompañarme y apoyarme en todo momento.

A mis hermanos, Lucía, Fermín y Delfina, por tantos años de convivencia compartida, por su apoyo, comprensión y aguante.

A la Universidad Nacional del Sur, en especial al Departamento de Agronomía, por brindarme una excelente formación académica y, sobre todo, por contribuir a mi crecimiento personal. Agradezco también a todos los docentes que fueron parte de este camino, aportando su granito de arena.

A Rocío y a toda su familia, por acompañarme en el último tramo de la carrera y apoyarme en cada paso.

A mis amigos, por su apoyo incondicional, por la amistad y por todos los buenos momentos vividos.

Al querido Centro de Estudiantes de Agronomía, gracias al cual conocí y experimenté momentos inolvidables durante mi vida universitaria.

A Pablo, Boris y Martín, por su ayuda y acompañamiento en la tesis, permitiéndome llegar al final de la carrera.

Índice

• Agradecimientos:	2
• Resumen:	4
• Introducción:	5
Regiones trigueras en Argentina:	5
Riego por pivote:	6
Desarrollo del cultivo de trigo:	7
• Objetivo general:	12
• Hipótesis:	12
• Materiales y métodos:	13
• Resultados y discusión:	18
Componentes del rendimiento:	22
Ensayo 1, Densidad:	22
Ensayo 2, Fertilización:	27
Análisis económico:	31
• Conclusiones:	33
• Bibliografía:	34
• Anexo 1:	36

Resumen:

El presente trabajo se desarrolló en el sudoeste bonaerense con el objetivo de evaluar el efecto de distintas densidades de siembra y dosis de fertilización fosfatada sobre el rendimiento y la calidad del trigo pan (*Triticum aestivum* L.) bajo riego por pivote central. El ensayo se llevó a cabo en el establecimiento “111”, en la localidad de Pigüé, partido de Saavedra, utilizando el cultivar Baguette 802. Se implementaron dos ensayos: en el primero se analizaron cuatro densidades de siembra (100, 125, 150 y 175 kg ha⁻¹), y en el segundo, cuatro dosis de fosfato diamónico (60, 80, 100 y 120 kg ha⁻¹), manteniendo constantes las condiciones hídricas y nitrogenadas. Los resultados mostraron que la variación en la densidad no generó diferencias significativas en el rendimiento, evidenciándose una compensación entre número de plantas y macollos fértiles. Sin embargo, el aumento de la fertilización a la siembra produjo incrementos significativos en los componentes del rendimiento (espiguillas y granos por espiga) y en la calidad del grano, reflejada en mayores contenidos de proteína y gluten. Desde el punto de vista económico, el tratamiento con menor densidad y adecuada fertilización resultó el más eficiente, al lograr mayores rendimientos con menor costo por hectárea. Se concluye que, bajo condiciones de riego, densidades moderadas y un adecuado manejo nutricional optimizan tanto la productividad como la rentabilidad del cultivo en la región.

Introducción:

El cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) ocupa un lugar central en la agricultura global, constituye un alimento básico para millones de personas y una fuente clave de energía y proteínas en la dieta humana. Sus principales formas de consumo son panificados, fideos y galletitas (BCR, 2025). A nivel mundial, es el segundo cultivo en importancia, solo superado por el maíz (*Zea mays*) y por encima del arroz (*Oryza sativa*). China lidera la producción con 140 millones de toneladas (Mt), seguida por la Unión Europea con 122 Mt e India con 113 Mt. Argentina se ubica en el puesto 12, con 18 Mt en la campaña 2023/24 (USDA, 2024). En nuestro país, el trigo es el tercer cultivo más importante en volumen, detrás del maíz y la soja (*Glycine max*). En la campaña 2023/24, se sembraron alrededor de 6 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 2,8 t ha⁻¹ (Secretaría de Agricultura, 2024).

Regiones trigueras en Argentina:

La producción de trigo en Argentina está dividida en 26 subregiones, definidas a partir de factores climáticos, agroecológicos, económicos y productivos. Estas abarcan desde el NOA, NEA, incluyendo la región pampeana, serrana, cuyana y hasta patagónica (Figura 1; Subregiones trigueras, 2021)

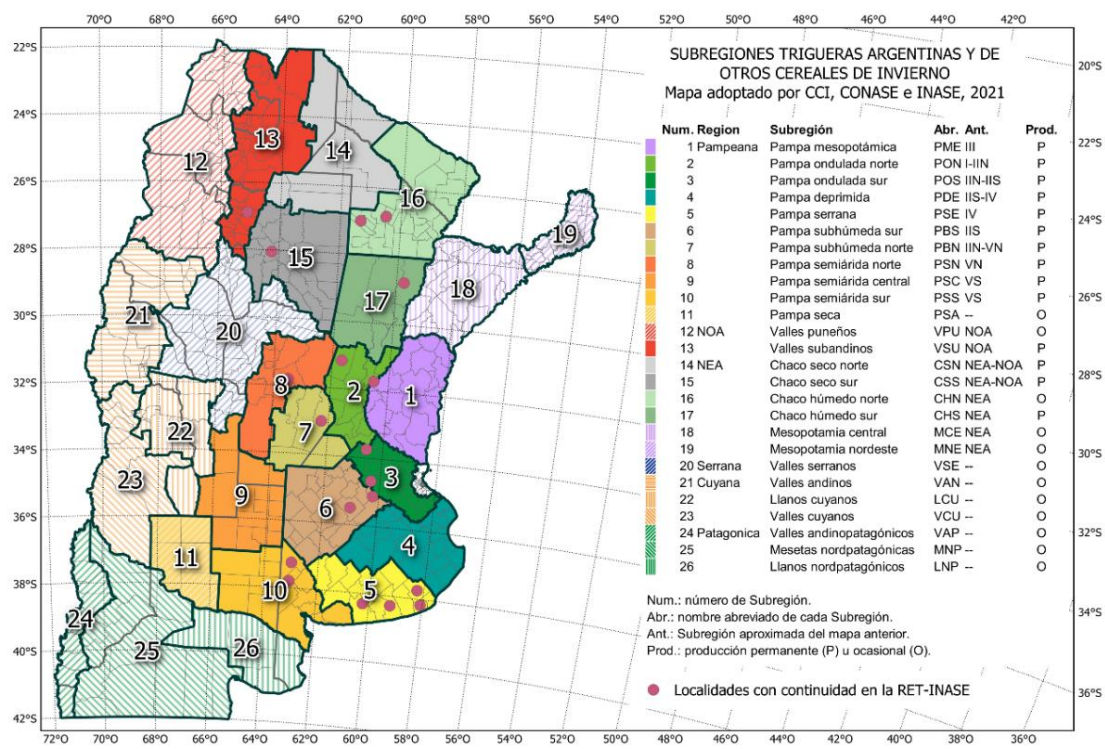


Figura 1. Subregiones trigueras argentinas.

El sudoeste bonaerense (SOB) pertenece a la subregión pampeana semiárida sur. Está comprendida por los partidos de Adolfo Alsina, Saavedra, Puán, Tornquist, Coronel Rosales, Coronel Dorrego, Bahía Blanca, Villarino, Patagones, Guaminí, Coronel Suárez y Coronel Pringles. El partido de Saavedra comprende una zona agrícola-ganadera, donde se cultivan principalmente cereales de invierno como trigo y cebada, y en menor medida cultivos estivales debido a que los veranos suelen presentar limitaciones hídricas.

El régimen de precipitaciones anuales oscila entre los 600 y 800 mm, con mayor concentración de lluvias durante la primavera y el otoño (Weather Spark, 2024). El clima presenta una marcada amplitud térmica estacional. El mes más frío del año es julio, con una temperatura mínima promedio de 2 °C y máxima de 13 °C. Los meses más calurosos van de noviembre a marzo, y la temperatura promedio diaria es de 26 °C. El mes más cálido del año es enero, con una temperatura promedio de 30 °C y mínima de 15 °C (Weather Spark, 2024). Durante el verano, las temperaturas máximas pueden superar los 35°C, mientras que, en invierno, las mínimas pueden descender por debajo de los -5°C, con frecuente ocurrencia de heladas. Los suelos predominantes en la zona son de textura franco-limosa, pertenecientes en su mayoría al grupo de los molisoles. Estos suelos se caracterizan por su riqueza en materia orgánica, que los hace aptos para la actividad agrícola, incluyendo la siembra de trigo (INTA Digital GEO, último ingreso: 10/10/2025). En cuanto al cultivo de trigo, se siembran aproximadamente 52.500 hectáreas (promedio campañas 2021/22 a 2023/24) con un rendimiento promedio de 2000kg ha⁻¹ (Estimaciones Agrícolas, 2024).

Riego por pivote:

El riego por pivote central se posicionó como una tecnología transformadora en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Estudios indican que los primeros equipos aparecieron en los años 1990 y ha crecido de manera exponencial hasta la fecha. El uso del pivote en el partido de Saavedra ha permitido aumentar y estabilizar rendimientos, diversificar cultivos y mejorar la eficiencia operativa mediante la automatización y la fertirrigación. La flexibilidad en la aplicación del riego por aspersión es también una ventaja significativa. Permite ajustar la cantidad y la frecuencia de riego según las necesidades específicas del cultivo, las condiciones climáticas y los recursos hídricos disponibles. Esta capacidad de adaptación es fundamental para garantizar un suministro de agua óptimo y evitar tanto el exceso como la escasez de riego, lo que puede afectar negativamente el rendimiento y la calidad de la producción. Además, el riego por aspersión contribuye significativamente a la reducción de las pérdidas de agua

por evaporación en comparación con otros métodos de riego, como el riego por inundación. Al distribuir el agua en forma de pequeñas gotas que infiltran sobre la superficie sin producir escurrimientos se conserva una mayor cantidad de agua en el sistema del suelo, lo que resulta en un uso más eficiente del recurso hídrico y una menor dependencia de fuentes de agua externas (Hurtado, 2024).

Desarrollo del cultivo de trigo:

El desarrollo del cultivo de trigo puede dividirse en seis etapas principales: establecimiento, pre-macollaje, macollaje, encañazón, espigazón/antesis y llenado de grano. Cada una de ellas cumple un rol clave en la determinación del rendimiento final (Figura 2; Miralles, 2014).

Durante el establecimiento y pre-macollaje, la semilla absorbe agua, germina y emerge el coleóptilo, dando origen a las primeras hojas y raíces. En esta fase se define la densidad de plantas por metro cuadrado, fundamental para el número potencial de espigas. Factores como la temperatura, la humedad del suelo y la calidad de la semilla determinan el éxito de la emergencia. (Miralles, 2014)

La etapa de macollaje comienza cuando el cultivo presenta 3 a 4 hojas. A partir de las yemas axilares se desarrollan macollos primarios y secundarios, de los cuales solo una parte sobrevive hasta la espigazón. En este período, el meristema cambia de estado vegetativo a reproductivo, aproximadamente cuando el cultivo tiene 5 hojas. Esta etapa es muy sensible a la disponibilidad de nitrógeno, agua y radiación, que condicionan la producción de macollos y, por tanto, el número potencial de espigas por unidad de superficie (Miralles, 2014).

Durante la encañazón y espigazón, el tallo se alarga. Al final de este período inicia el llamado período crítico del cultivo, en el cual se determinan los principales componentes del rendimiento: el número de espigas y granos por espiga (es decir, granos por metro cuadrado). En trigo, dicho período se extiende desde tres semanas antes hasta 10 días después de la antesis, siendo crucial una adecuada disponibilidad de agua, nutrientes y radiación solar, y ausencia de temperaturas estresantes (tanto bajas como altas) (Miralles, 2014).

Posteriormente, en la etapa de llenado de granos, los fotoasimilados provenientes de la fotosíntesis y de las reservas almacenadas en tallos se trasladan hacia los granos en formación y llenado. La duración y eficiencia de este proceso determinan el peso final del grano. Altas temperaturas o déficits hídricos durante esta etapa reducen su duración

y afectan el rendimiento. Finalmente, durante el secado, el grano pierde humedad hasta alcanzar la madurez fisiológica y de cosecha (Miralles, 2014).

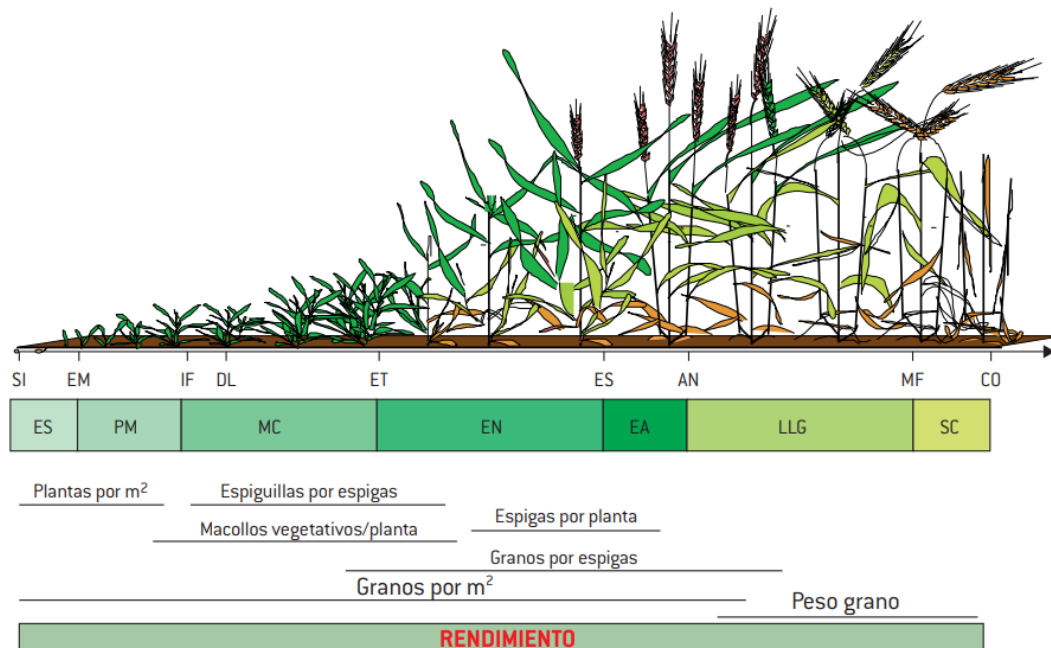


Figura 2. Etapas de desarrollo del cultivo de trigo.

Seis etapas de desarrollo: (1) Establecimiento (ES, entre siembra y emergencia), (2) Pre-Macollaje (PM, entre emergencia e inicio de macollaje), (3) Macollaje (MC, entre inicio de macollaje e inicio de encañazón), (4) Encañazón (EN, entre inicio de encañazón e inicio de espigazón), (5) Espigazón/Antesis (EA, entre inicio de espigazón y fin de antesis), y (6) Llenado de grano (LLG, entre fin de antesis y madurez fisiológica). Finalizado el LLG, continúa una etapa de secado del grano (SC), donde el rendimiento ya fue definido y el grano sólo pierde humedad (Miralles, 2014).

La fecha y densidad de siembra, junto a la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes) regulan la dinámica de macollaje y condicionan tanto la cantidad de macollos aparecidos como el porcentaje de mortandad de los mismos. La cantidad de macollos aparecidos por planta y que alcanzan el estado de macollo fértil (espiga) a madurez será mayor cuanto más prolongado sea el período de macollaje (fechas de siembra tempranas), y mayor la disponibilidad de recursos. Esto implica que retrasos en la fecha de siembra deban ir acompañados de un aumento en la densidad de siembra para lograr una buena cobertura del suelo y aprovechar la radiación incidente (Miralles, 2014).

Para una fecha de siembra específica y condición hídrico-nutricional dada, altas densidades de siembra restringen la cantidad de macollos aparecidos por planta, pero el número de espigas por m^2 logrado para diferentes densidades suele no verse

modificado debido a la compensación entre la cantidad de macollos establecidos por planta y el número de plantas por m². En condiciones agronómicas normales llegan a establecerse de uno a tres macollos con espigas por planta, más el vástago principal, lo cual representa alrededor de 400-700 espigas por m² (Miralles, 2014).

La fertilización constituye una práctica fundamental para maximizar la productividad del cultivo de trigo. Entre los nutrientes más importantes se destacan el nitrógeno (N), y el fósforo (P), los cuales suelen presentar una respuesta positiva a la aplicación de fertilizantes, mejorando significativamente el desarrollo y el rendimiento del cultivo (Gudelj, 2021).

Si la siembra del cultivo se realiza con una condición nutricional deficitaria en el suelo, es necesario fertilizar en ese momento. La fertilización con nitrógeno a la siembra es una de las prácticas de manejo que favorece fuertemente la aparición de macollos, mientras que fertilizaciones a inicio de macollaje reducen la mortandad de macollos. En ambos casos ello se traduce en un aumento en el número de espigas por m². La fertilización al macollaje se recomienda en cultivos correctamente implantados y con una adecuada disponibilidad hídrica durante la etapa de pre-macollaje. Una mayor capacidad de producir macollos puede determinar leves reducciones en la densidad de siembra respecto de otro cultivar con menor capacidad de macollaje (Miralles, 2014).

La presencia de enfermedades y plagas disminuye la generación de macollos además de la presencia de malezas, lo que genera una competencia por recursos (Miralles 2014).

La eficiencia en el uso de los fertilizantes depende de una adecuada selección de la dosis, la fuente, la forma y el momento de aplicación. Para ello, el diagnóstico de la situación inicial del lote resulta imprescindible. Una de las principales herramientas de evaluación son los análisis de suelo, los cuales, complementados con información climática y antecedentes del lote, permiten definir estrategias de fertilización más precisas (Gudelj, 2021).

En el caso del fósforo, se trata de un nutriente de baja movilidad en el suelo, cuya disponibilidad resulta esencial desde las etapas iniciales del cultivo. Por esta razón, su aplicación debe realizarse de manera previa o simultánea a la siembra, según tipo de trigo y zona, con respuestas de 15 a 25 kg de trigo por P₂O₅ aplicados en la línea. (Berardo et al., 1998). La aplicación puede efectuarse en la línea de siembra o bien localizada a un costado y debajo de la semilla. Sin embargo, cuando se coloca en la línea, la dosis no debe ser excesiva para evitar riesgos de fitotoxicidad, especialmente

en condiciones de baja humedad y cuando se utilizan fuentes que aportan simultáneamente nitrógeno y fósforo, como fosfato monoamónico o diamónico.

El nitrógeno, por su parte, constituye el nutriente de mayor requerimiento en el cultivo de trigo y, luego del agua, es el principal factor limitante del rendimiento en gran parte de la región (Gudelj, 2021). Para la producción de una tonelada de grano se requieren aproximadamente, 30 kg de nitrógeno, de los cuales 21 kg son exportados con la cosecha. Dada su alta movilidad en el suelo, la estrategia de aplicación debe considerar tanto la demanda del cultivo como las condiciones ambientales. En la región pampeana, no se presentan inconvenientes para aplicar nitrógeno al momento de la siembra, debido a que las precipitaciones suelen ser bajas durante el período invernal. Además, el aporte puede complementarse en etapas posteriores, principalmente durante el macollaje, siendo la urea una de las fuentes más utilizadas (Gudelj, 2021).

Nutriente	Requerimiento (kg t ⁻¹ MS)	Cosechado (MS)	Cosechado (13,5% humedad)	Índice de cosecha
N	30	20,7	18	0,69
P	5	4	3	0,80
K	19	4	3	0,21
Ca	3	0,4	0,4	0,14
Mg	3	1,9	2	0,63
S	4,5	1,5	1,5	0,34
B	0,025	0,013	0,011	0,50
Cu	0,010	0,008	0,006	0,75
Fe	0,137	0,136	0,117	0,99
Mn	0,070	0,012	0,010	0,17
Zn	0,052	0,026	0,022	0,50

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales del cultivo de trigo

A pesar de lo expuesto, bajo condiciones de riego por pivote, el comportamiento del cultivo puede diferir respecto a condiciones de secano debido a que el suministro hídrico elimina una de las principales limitantes del rendimiento, haciendo que las respuestas a la densidad de siembra y al nitrógeno sean más marcadas. En el partido de Saavedra, donde el riego suplementario ha crecido en los últimos años, existe escasa información local que permita definir la densidad óptima de siembra y la dosis adecuada de nitrógeno bajo estas condiciones.

En este contexto, el presente trabajo busca determinar la combinación de densidad y fertilización nitrogenada que maximice el rendimiento y la eficiencia en el uso de

insumos bajo riego por pivote en la zona, contribuyendo a optimizar el manejo del cultivo y a generar información local.

Objetivo general:

- ❖ Evaluar el comportamiento de una variedad de trigo pan bajo riego a diferentes densidades de semilla y fertilizante fosfatado.

Hipótesis:

- ❖ A mayor densidad de siembra incrementa el número de espigas principales y se produce un aumento del rendimiento.

Materiales y métodos:

El ensayo se llevó a cabo en el establecimiento “111”, ubicado a unos 7 km de la localidad de Pigüé, partido de Saavedra ($37^{\circ}35'68''\text{S}$; $62^{\circ}20'64''\text{O}$), en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 4). Este campo cuenta con una superficie total de 400 hectáreas (ha), de las cuales 280 ha están bajo riego mediante sistema de pivote central. El riego se organiza en tres tercios de aproximadamente 90 ha cada uno, donde habitualmente se realizan cultivos de maíz, trigo, soja y girasol. El ensayo se instaló dentro de la superficie cubierta por uno de los pivotes, destinando 1 ha exclusivamente para su desarrollo.



Figura 4: Establecimiento “111” Pigüé, Sudoeste Provincia de Buenos Aires ($37^{\circ}35'68''\text{S}$; $62^{\circ}20'64''\text{O}$).

Antes de comenzar, se realizó un análisis de suelo con el objetivo de conocer la disponibilidad inicial de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo. El cultivo antecesor fue soja, cosechada en mayo. El barbecho comenzó el 10 de mayo, mediante la aplicación de la combinación de sulfosato (2 L ha^{-1}) con corrector, 2,4D Advance (600 ml ha^{-1}), dicamba (120 ml ha^{-1}) y un coadyuvante. El objetivo fue lograr un lote libre de malezas para facilitar la implantación del cultivo de trigo y minimizar el gasto de energía en la competencia por recursos.

Previo a la siembra, se realizó un trabajo con un corta rastrojo para mejorar la cama de siembra y generar las condiciones para lograr una buena implantación del trigo y minimizar pérdidas de plantas por posibles heladas.

La siembra se realizó el 26 de mayo, utilizando una sembradora de 12 metros de ancho con surcos a 26cm entre ellos. Se utilizó el cultivar Baguette 802, de ciclo largo, reconocido por su alto potencial de rendimiento, altos requerimientos de frío y alta capacidad de macollaje. En cuanto a su perfil sanitario presenta buena tolerancia a la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *Tritici*), fusarium (*Fusarium graminearum*) y en menor medida a la roya negra (*Puccinia graminis* f. sp. *Tritici*). También, tiene tolerancia a la mancha amarilla (*Pyrenophora tritici-repentis*) y roya naranja (*Puccinia triticina*). (Nidera Semillas, 2025).



Figura 5. siembra del ensayo.

Se realizaron dos ensayos en uno de ellos se evaluaron 4 densidades de siembra (Experimento 1), mientras que, en el otro ensayo, se evaluaron 4 dosis de fertilización (Experimento 2). Las parcelas fueron sembradas en franjas de 110m de largo por 12m de ancho. La semilla utilizada presentó un P_{1000} de 34 g, PG 98 %, Pureza 97.7 % y coeficiente de logro de 0.88. En el experimento 1 se utilizó 100, 125, 150, 175 kg de semilla ha^{-1} , con una fertilización de 100 kg de fosfato di amónico (DAP) ha^{-1} por igual en todas las parcelas. En el experimento 2, se varió el DAP entre parcelas utilizando, 60, 80, 100 y 120 kg por hectárea, con una densidad de semillas de 125 kg ha^{-1} igual para todas las parcelas, con un logro de 308 plantas por m^2 .

Cuadro 2: Características de los experimentos 1 y 2.

Exp. 1. Densidad				
Tratamiento	1	2	3	4
Semilla (kg. Ha)	100	125	150	175
Arrancador (kg. Ha)	100	100	100	100
Urea (kg. Ha)	290	290	290	290

Exp. 2. Fertilización				
Tratamiento	1	2	3	4
Semilla (kg. Ha)	125	125	125	125
Arrancador (kg. Ha)	60	80	100	120
Urea (kg. Ha)	290	290	290	290

En ambos experimentos, una vez implantado el cultivo, se procedió a realizar el conteo de plantas por m^2 (Figura 6) Los resultados obtenidos fueron: 118 pl m^{-2} en el tratamiento 1, 151 pl m^{-2} en el tratamiento 2, 193 pl m^{-2} en el tratamiento 3 y 216 pl m^{-2} en el tratamiento 4. En cuanto al resto de las parcelas, sembradas con una dosis fija de semilla, se alcanzó en todos los casos una densidad uniforme de 140 pl m^{-2} .



Figura 6. Conteo de plantas (07/07/2024)

Durante el macollaje (13 de agosto), se realizó la primera fertilización nitrogenada, aplicando 200 kg ha^{-1} de urea en todas las parcelas de ambos experimentos con la finalidad de que el nitrógeno no sea limitante. La dosis se completó en septiembre con 90 kg ha^{-1} adicionales, alcanzando un total de 290 kg ha^{-1} .

Para el control de malezas se efectuó una aplicación de herbicidas, con una mezcla integrada por metsulfuron (6 g ha^{-1}), 2,4-D (450 ml ha^{-1}), dicamba (140 ml ha^{-1}) y coadyuvante ($20 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$).

En octubre se aplicó el primer fungicida (orquestra ultra-1 L ha^{-1}) y, posteriormente, en noviembre, se realizó una segunda aplicación del fungicida, complementada con lambdacihalotrina ($80 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$) y coadyuvante ($10 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$) para el control de orugas.



A. (07/07/2024)

B. (06/10/2024)

C. (03/11/2024)

Figura 7. Desarrollo del cultivo.

La cosecha se realizó el día 26 de diciembre (Figura 8) con una cosechadora que estaba provista de tecnología para realizar un mapa de rendimiento para cada parcela cosechada. Antes de realizar la cosecha con la máquina se precedió a realizar la cosecha manual en el ensayo. Para esta última, se utilizó aros de $\frac{1}{4}$ de metro cuadrado, recolectando 12 muestras al azar en cada parcela experimental para asegurar representatividad y poder realizar los análisis estadísticos. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis de varianza (ANOVA) y se compararon las medias mediante el test LSD de Fisher ($p < 0,05$) utilizando el software estadístico Navure (versión estudiantil).

A las muestras correspondientes a cada tratamiento y experimento se les determinó proteína y gluten (Inframatic 9500 para determinar proteína y glutomatic para determinar el gluten) a fin de evaluar la calidad del grano en cada situación. Por otra parte, las muestras recolectadas manualmente fueron trilladas de forma individual, contabilizando espigas por m^2 , número de espiguillas por espiga, número de granos por espiga y peso de mil granos. Con esos datos se estimó el rendimiento de cada parcela y se compararon los distintos tratamientos.

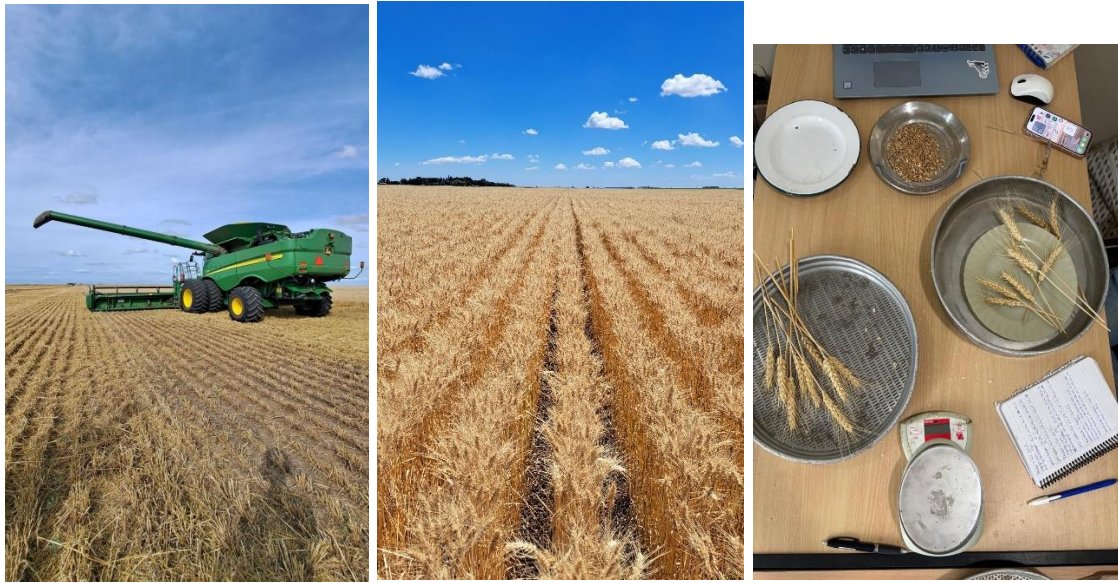


Figura 8. Cosecha del cultivo. (26/12/2024/)

Resultados y discusión:

Durante el ciclo del cultivo, que abarcó desde mayo a noviembre, las lluvias estuvieron por debajo del promedio histórico (Figura 9). La precipitación total durante el período del cultivo fue de 300 mm y se aplicaron 270 mm de riego por pivot central, totalizando una lámina de 574 mm durante el ciclo del cultivo. (Figura 9). El riego se aplicó durante todo el desarrollo del cultivo, logrando un buen desarrollo en todas sus fases fenológicas (implantación, macollaje, encañazon, floración y llenado de grano) utilizándose principalmente desde encañazon en adelante, siendo el comienzo del periodo crítico, es decir el momento de mayor evapotranspiración por parte de las plantas, alcanzando hasta un máximo de 8 mm por día (Figura 10).

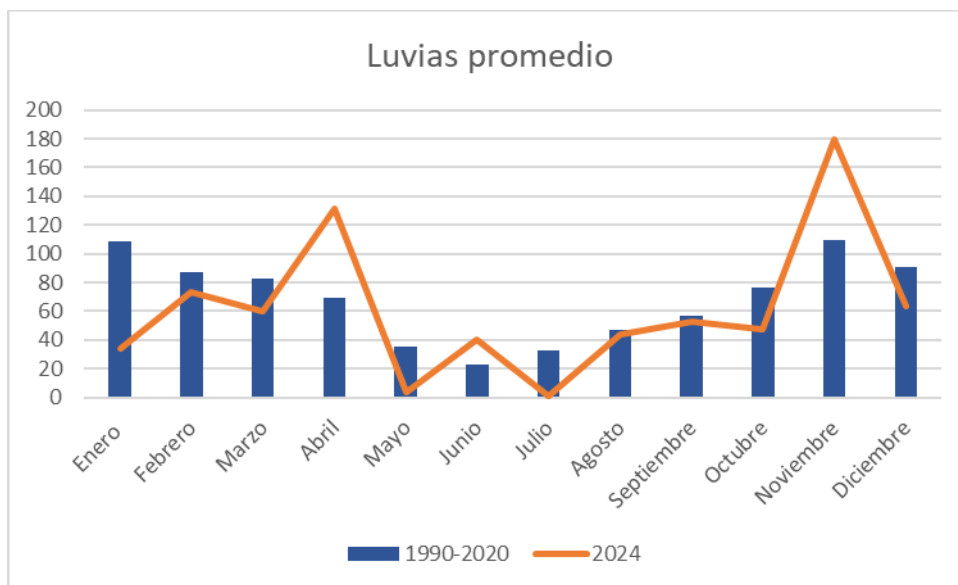


Figura 9: Precipitaciones promedio (1990-2020) y precipitaciones mensuales durante la campaña 2024 en la ciudad de Pigüé (Meteostat, 2024).

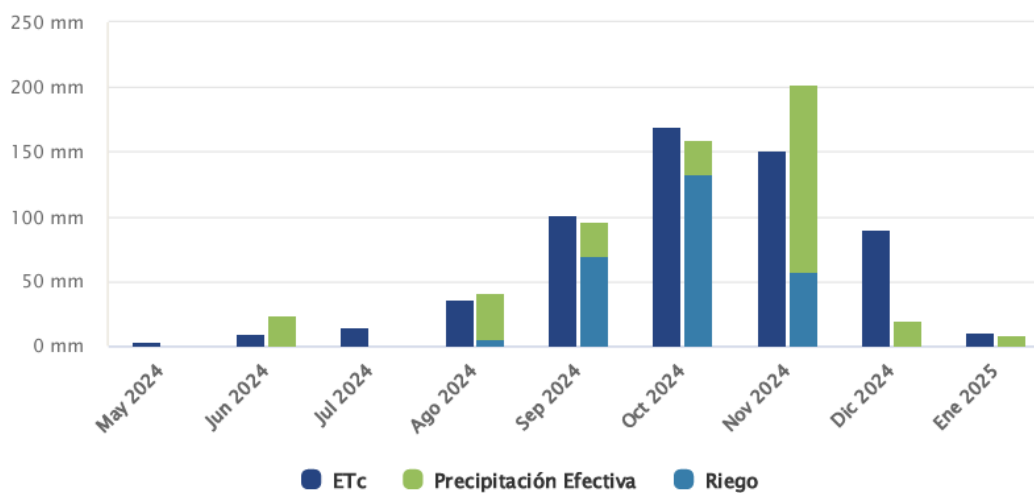
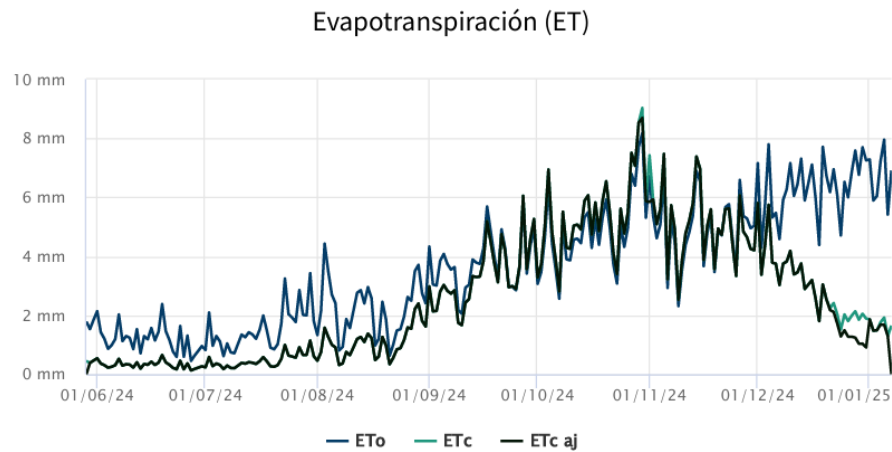


Figura 10. Sumatoria de milímetros de agua correspondientes a evapotranspiración, riego y precipitaciones.



Ingresos vs Egresos mensual

Figura 11. Evapotranspiración del cultivo de trigo durante su ciclo.

En la Figura 9 se observa que el aumento de la evapotranspiración del cultivo supera ampliamente los registros de precipitaciones desde el mes de septiembre durante todo el ciclo del cultivo y por tal motivo esta diferencia de agua se complementó con riego. Esto permitió que el cultivo exprese su máximo potencial productivo sin enfrentar limitantes por disponibilidad de agua. En este sentido, el riego se empleó de manera complementaria, lo que permitió no depender de las precipitaciones.

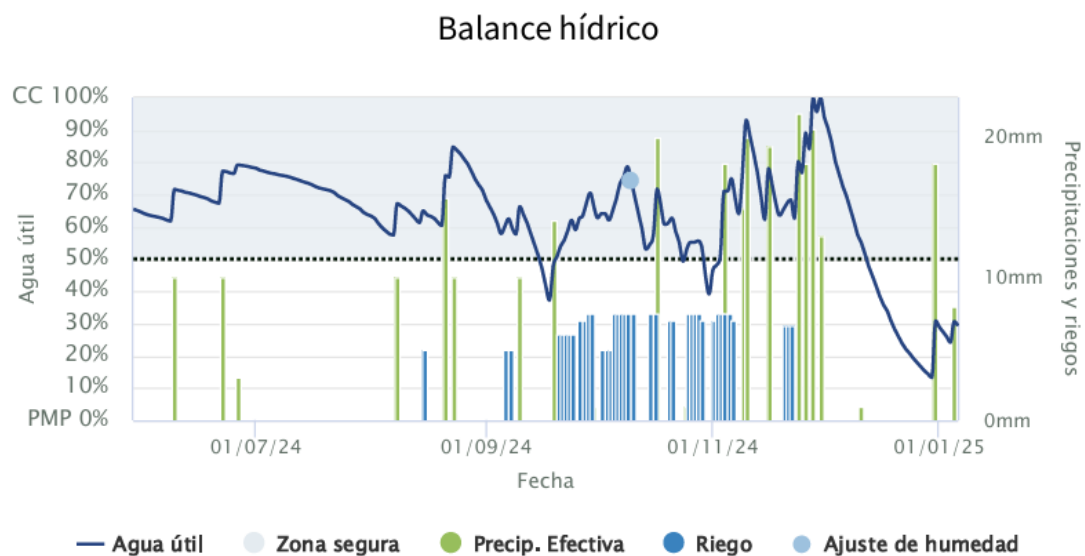


Figura 12. Balance hídrico.

En la Figura 11 se observa el estado hídrico en el perfil del suelo durante el desarrollo del cultivo. El objetivo fue mantener el suelo con un porcentaje de agua útil igual o mayor al 60%, alcanzando la humedad necesaria para cada fase fenológica del cultivo.

Los valores obtenidos por los análisis de suelos fueron:

Tabla 1. Análisis de suelo presiembra del cultivo.

Profund. (cm)	pH	Fosforo disp. (ppm)	Materia org (%)	Nitr. Disp. (ppm)	Nitr. Disp. Kg/ha	S. Disp. (ppm)
0-20	7.20	23.5	4.09	9.8	26.2	9.6
20-40				6.6	17.6	
40-60				4.8	12.8	

El lote presentó un pH de 7,2, valor cercano a la neutralidad, lo cual constituye una condición favorable para el cultivo. Bajo este rango de pH no se observan limitaciones relevantes en la disponibilidad de macronutrientes.

En relación con el fósforo disponible, el valor registrado fue de 23,5 ppm (0-20cm), lo que se ubicó por encima del rango crítico definido para la región pampeana (12–20 ppm, INTA Marcos Juárez). Este nivel indica una adecuada disponibilidad de fósforo para el inicio del cultivo, sugiriendo que no se esperarían respuestas significativas a la fertilización fosfatada.

La materia orgánica, con un valor de 4,09%, se encontró en niveles relativamente altos en comparación con los promedios regionales, que son de 2.5 a 3.5. Este contenido favorece tanto la estructura del suelo como su capacidad de retención de agua y nutrientes, contribuyendo positivamente a la disponibilidad de nitrógeno y azufre a lo largo del ciclo del cultivo.

Por otra parte, el nitrógeno disponible resultó ser el factor más limitante. Los valores determinados (9,8 ppm de N-nitratos equivalentes a 26,2 kg ha⁻¹, con registros aún menores en otras muestras: 6,6 ppm y 4,8 ppm de N-nitratos) son insuficientes para cubrir la elevada demanda del trigo. Cabe recordar que se requieren aproximadamente 30 kg de N por tonelada de grano producido, de los cuales 21 kg son exportados con la cosecha.

Respecto al azufre disponible, el valor observado (9,6 ppm) se encuentra en un nivel considerado adecuado para el cultivo (Galantini, 2003). Si bien el trigo puede responder

a la aplicación de azufre en suelos con baja materia orgánica y niveles reducidos de azufre disponible, en este caso no se consideró que fueran deficiencias. En resumen, el diagnóstico de fertilidad indicó que el lote presenta condiciones favorables de pH, fósforo y azufre, mientras que el nitrógeno constituyó el principal factor limitante, y por tal motivo se fertilizó.

Componentes del rendimiento:

El rendimiento del trigo se estima a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Plantas/m}^2 \times \text{espigas/planta} \times \text{espiguillas/espiga} \times \text{granos/espiguilla} \times \text{peso de granos}$$

Ensayo 1, Densidad:

Dentro del primer experimento, en el cual evaluamos diferentes densidades de siembra, se observó que el número de espigas m^{-2} no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.9255$), alcanzando un promedio de 600 espigas m^{-2} en todas las parcelas (Figura 13a). Esto posiblemente estuvo asociado a que las parcelas con menor densidad de plantas presentaron mayor macollaje y *vice versa*, compensando el número de macollos fértiles finales. El tratamiento con mayor densidad presentó mayor número de espigas principales, mientras que el tratamiento con menor densidad de plantas presentó mayor número de espigas provenientes de macollos.

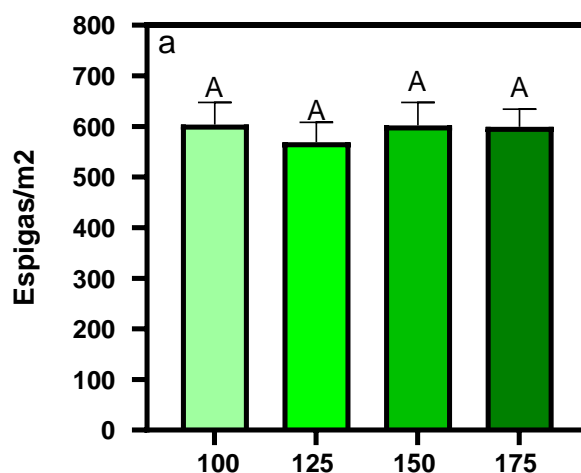


Figura 13: Espigas por metro cuadrado.

Estos datos se correlacionan con lo planteado por Herbin (2020), donde evaluó tres densidades de siembra, obteniendo la misma cantidad de espigas m^{-2} .

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.0021$) en el número de espiguillas por espiga (Figura 14b). Los tratamientos de menor densidad presentaron mayor número de espiguillas por espiga, comparado con los tratamientos de mayor densidad, que presentaron menor número de espiguillas por espiga. Esto podría estar asociado principalmente a que a medida que se aumenta la densidad de plantas aumenta la competencia entre plantas, y esa competencia podría resultar en un aumento en la tasa de desarrollo que podría desencadenar en menor número de espiguillas por espiga. Estos resultados podrían contradecir la teoría, que predice que una mayor densidad de plantas se asocia con la formación de un mayor número de espigas principales, con un mayor número de espiguillas por espiga.

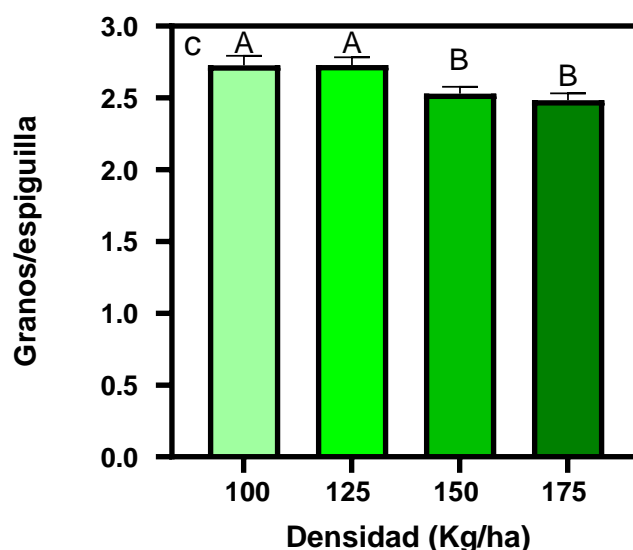


Figura 14: Espiguilla por espiga.

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.0014$) en el número de granos por espiguilla (Figura 15c). Los tratamientos de mayor densidad presentaron menor número de granos por espiguilla, posiblemente asociado a la competencia entre macollos. También se apreciaron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.0002$) en el número de granos por espiga (Figura 15d). Este componente es el resultado de las espiguillas por espiga por los granos por espiguilla; por lo tanto, los resultados corresponden a la combinación de los dos componentes del rendimiento previamente discutidos. Las parcelas de menor densidad, desarrollaron una espiga de mayor tamaño, teniendo más espiguillas/espigas y más granos por espiguilla. Todo esto se traduce en mayor cantidad de granos por espiga.

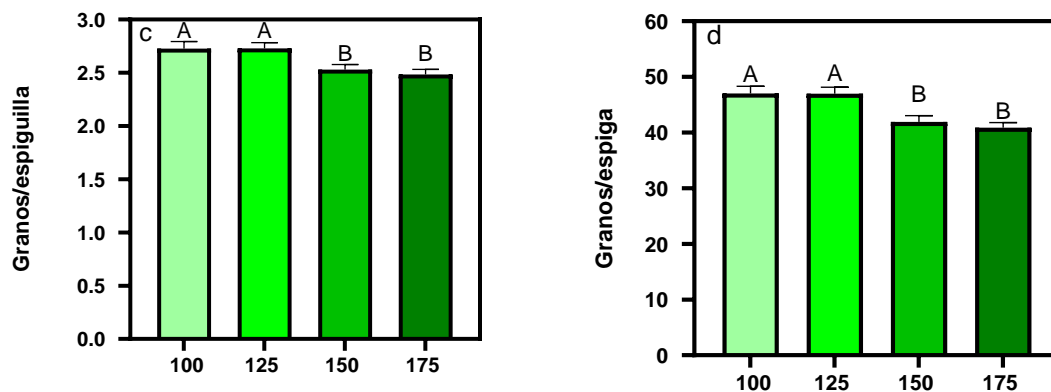


Figura 15: granos por espiguilla y granos por espiga.

Este resultado se coincide con lo planteado por Herbin (2020), donde observó que a medida que aumentaba la densidad disminuía la cantidad de granos/espiga.

No se observaron diferencias significativas ($p=0.6174$) en el peso de 1000 granos (Figura 16e), posiblemente debido a que todas las parcelas recibieron las mismas condiciones nutricionales e hídricas y completaron el llenado de granos de manera similar. El peso de los granos depende predominantemente de las condiciones ambientales durante el periodo de llenado. Resultados similares fueron encontrados por Herbin (2020).

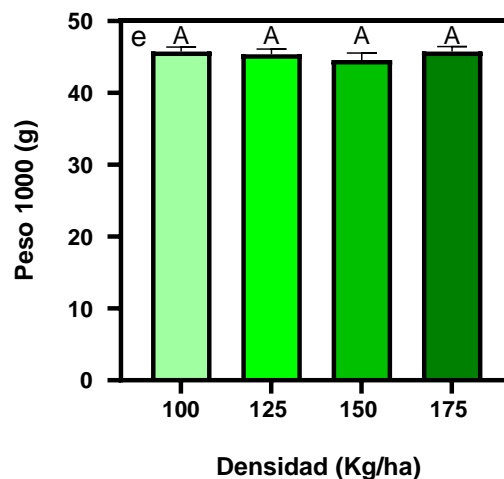


Figura 16: Peso de mil gramos.

Finalmente, si bien se observó una tendencia a menor rendimiento a medida que incrementó la densidad de siembra, esta tendencia no fue significativa ($p=0.5344$)

(Figura 17f). Coincidiendo por lo planteado por Herbin (2020) donde tampoco encontró diferencias de rendimientos ante el cambio en la densidad de siembra a partir de densidades de 120, 265 y 300 plantas m^{-2} .

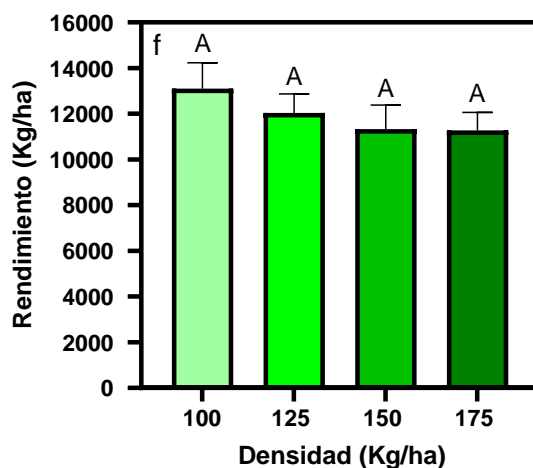


Figura 17: Rendimiento de los tratamientos.

En cuanto al análisis de proteína, se observaron valores entre 11,2 y 13,5, sugiriendo que el nitrógeno no fue limitante y se obtuvo valores razonables de proteína. En la Figura (18g) se aprecia que los tratamientos 2 y 3 presentaron valores similares, mientras que el tratamiento 4 obtuvo el mayor contenido proteico. El resto de las parcelas mantuvo porcentajes estables, con valores generales relativamente bajos. Solo la dosis más elevada superó el 11% de proteína, umbral considerado como valor base para evitar descuentos comerciales en la venta del grano (Figura 18g). Este comportamiento destaca la importancia de una adecuada fertilización nitrogenada, ya que puede marcar la diferencia entre alcanzar los estándares de calidad comercial o sufrir penalizaciones por bajo contenido proteico. Estos resultados coinciden con lo planteado por Nabaes (2021), quien señala que la disponibilidad de nitrógeno es determinante en la acumulación de proteínas durante el llenado del grano.

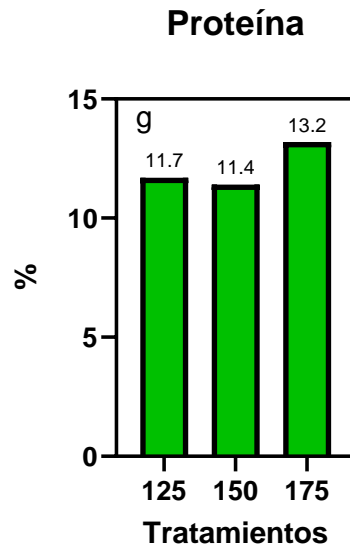


Figura 18: Análisis de proteína.

Por otra parte, en el análisis de gluten (Figura 19h) se obtuvieron resultados similares entre las parcelas, lo cual era esperable dado que todas recibieron la misma dosis de nitrógeno. Aun así, los valores registrados fueron adecuados. Estos resultados coinciden con lo planteado por Cardinale (2018), quien señala que la disponibilidad de nitrógeno incide directamente en la síntesis y calidad de las proteínas del gluten, siendo este factor determinante para alcanzar una buena calidad panadera.

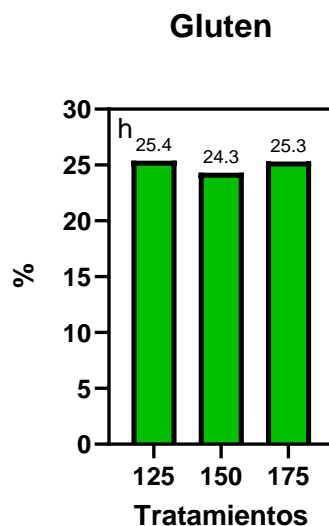


Figura 19: Análisis de gluten.

Ensayo 2, Fertilización:

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.1288$) en el número de espigas m^{-2} (Figura 20a). El tratamiento con mayor dosis de fertilizante mostró un leve incremento de espigas m^{-2} comparado con los tratamientos que menos fertilizante recibió.

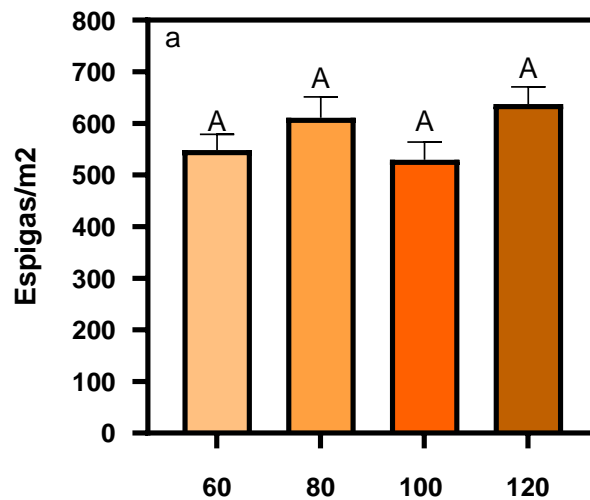


Figura 20: Espigas por metro cuadrado.

El incremento en la dosis de DAP resultó en incrementos en el número de espiguillas por espiga ($p=0.0046$), granos por espiguilla ($p=0.0192$) y número de granos por espiga ($p=0.0074$) (Figura 21b, c, y d). Resultados similares fueron observados por Nabaes (2021).

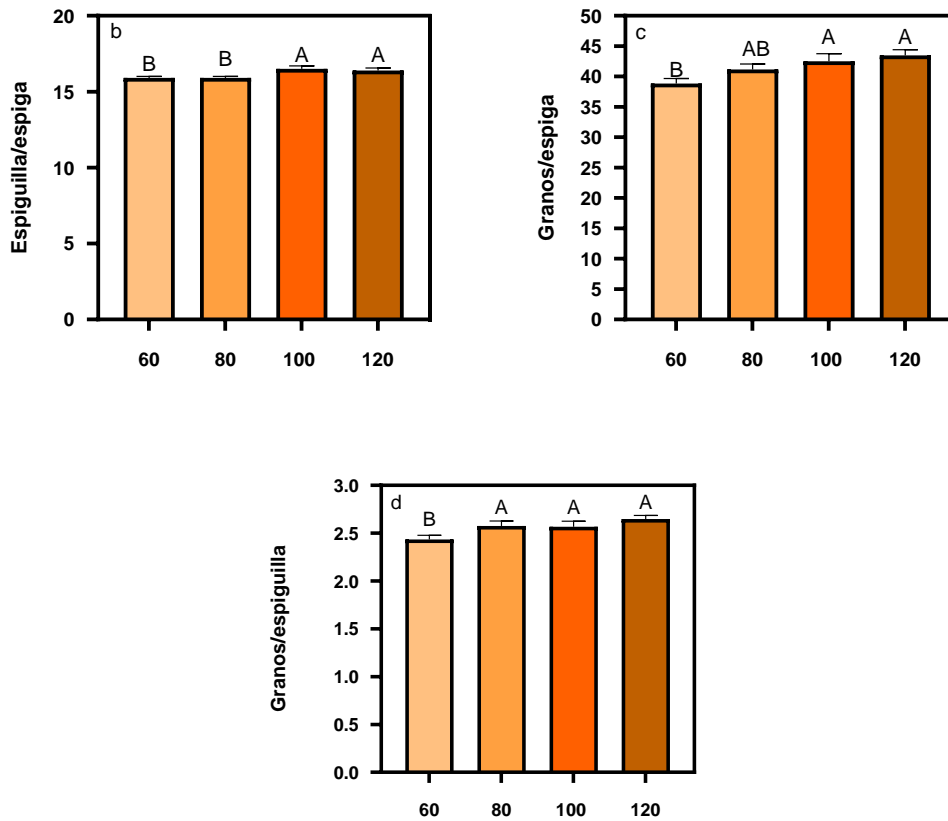


Figura 21: Espiguilla por espiga, granos por espiga y granos por espiguilla.

No se observaron diferencias significativas ($p=0.9085$) en el peso de 1000 granos entre tratamientos (Figura 22e). A pesar de las diferencias en la fertilización, el riego aseguró un buen desarrollo de las espigas y buen llenado de granos, resultando en un peso de mil granos similar en los tratamientos. Estos datos difieren de los planteado por Nabaes (2021), quien encontró que la aplicación de fertilizante nitrogenado de manera tardía contribuye a un mejor desarrollo del peso de la semilla.

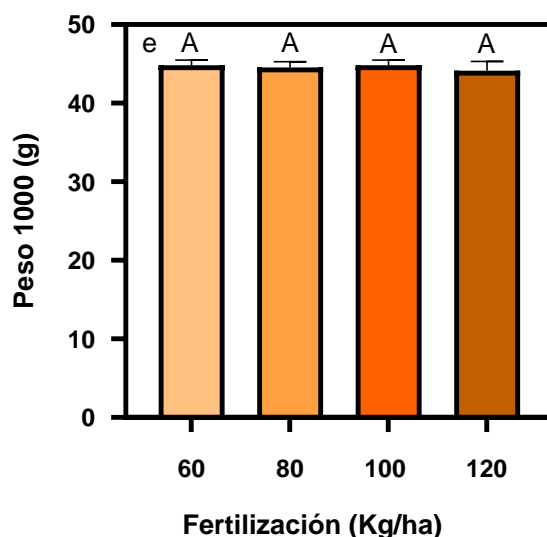


Figura 22: Peso de mil granos.

Finalmente, se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.0329$) en el rendimiento de trigo (Figura 23f), con mayor rendimiento en aquellos tratamientos con mayor dosis de fertilizante. Esto podría estar asociado a un mejor desarrollo del cultivo, mayor número de espiguillas, y mayor número de granos por espiga, lo que nos resultó en mayor rendimiento. De manera contraria, el tratamiento con 60 kg DAP ha^{-1} presentó menores rendimientos. Los tratamientos intermedios mostraron un rendimiento intermedio. Estos resultados coinciden con lo estudiado por Nabaes (2021).

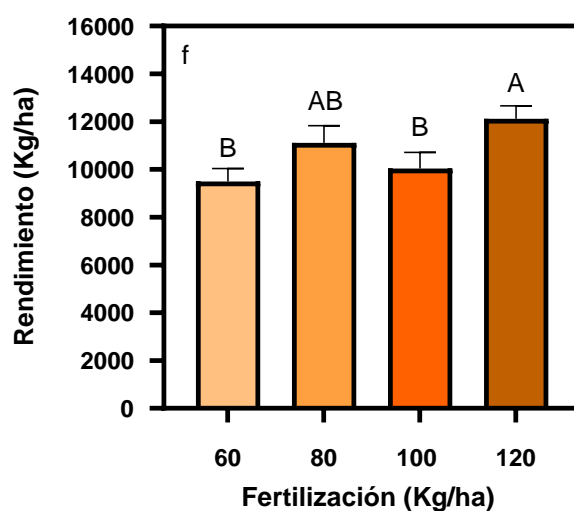


Figura 23: Rendimientos de los tratamientos

En cuanto al análisis de proteína (Figura 24g), se observó que el porcentaje de proteína aumentó a medida que los tratamientos recibieron mayores dosis de nitrógeno. Esto

confirma que el nitrógeno es un elemento esencial para la síntesis de proteínas en el grano, y, por lo tanto, un factor determinante para alcanzar niveles que permitan bonificaciones en la comercialización.

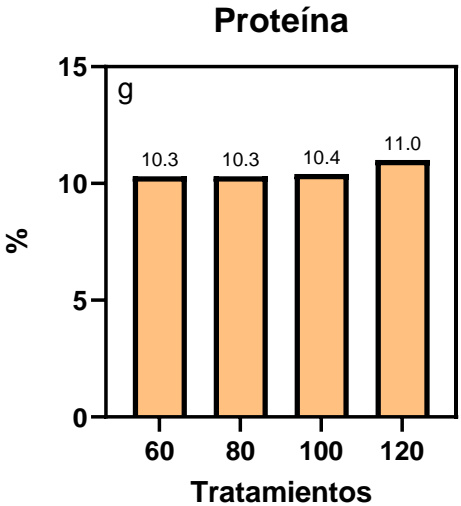


Figura 24: Análisis de proteína.

Por otra parte, en el análisis de gluten (Figura 25h) se evidenció que, a medida que incrementó el contenido de proteína y, en consecuencia, la disponibilidad de nitrógeno, también aumentó el porcentaje de gluten. Este comportamiento refleja la relación directa entre el nitrógeno absorbido por la planta y la formación de las proteínas de reserva (gliadinas y gluteninas), responsables de la calidad panadera del grano.

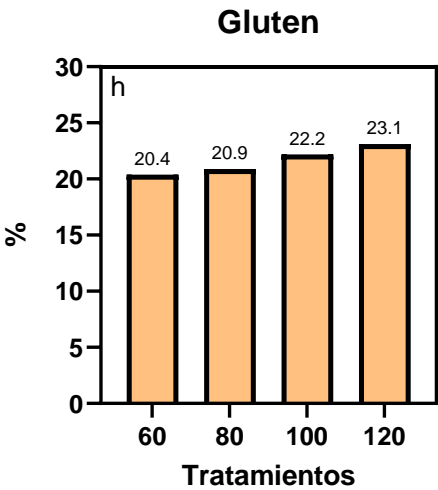


Figura 25: Análisis de gluten:

Análisis económico:

Para finalizar el ensayo, se realizó un análisis económico de cada situación, considerando los costos asociados a cada tratamiento. Se calculó el margen bruto, observándose que el tratamiento con mayor rendimiento fue también el que presentó el mejor resultado económico.

A medida que disminuyó la densidad de siembra, se registró un ahorro en el uso de semilla y, simultáneamente, un incremento en el rendimiento, lo que resultó en un mayor ingreso neto y, en consecuencia, un aumento del margen bruto. Por el contrario, al incrementar la fertilización, los costos por hectárea fueron más elevados, aunque este mayor gasto se tradujo en un incremento del rendimiento, permitiendo también una mejora en el margen bruto.

En todos los casos, el margen presentó una marcada relación con el rendimiento. Es importante señalar que el costo por hectárea fue elevado en todos los tratamientos, debido a que el cultivo se realizó bajo riego, una condición que requiere una alta inversión tecnológica orientada a maximizar la productividad buscando maximizar los rendimientos.

Densidad (kg/ha)	175	150	125	100	125	125	125	125
Arrancador (kg/ha)	100	100	100	100	120	100	80	60
CAMPAÑA 24-25	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5	Tratamiento 6	Tratamiento 7	Tratamiento 8
equiv HA	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132
Rendimiento TN/ha	11.275	11.325	12.041	13.102	12.121	10.040	11.113	9.495
Precio Bruto venta:	USD 200	USD 200	USD 200	USD 200	USD 200	USD 200	USD 200	USD 200
Fletes (CORTO/LARGO)	USD 19.31	USD 19.31	USD 19.31	USD 19.31	USD 19.31	USD 19.31	USD 19.31	USD 19.31
Comisiones y gastos	USD 4.00	USD 4.00	USD 4.00	USD 4.00	USD 4.00	USD 4.00	USD 4.00	USD 4.00
PRECIO NETO/TN	USD 177	USD 177	USD 177	USD 177	USD 177	USD 177	USD 177	USD 177
INGRESO NETO	USD 1.992	USD 2.001	USD 2.128	USD 2.315	USD 2.142	USD 1.774	USD 1.964	USD 1.678
Labores/ha	USD 110	USD 85	USD 85	USD 85	USD 85	USD 85	USD 85	USD 85
Agroquímicas/ha	USD 105	USD 105	USD 105	USD 105	USD 105	USD 105	USD 105	USD 105
Urea 290 kg/ha	USD 145	USD 145	USD 145	USD 145	USD 145	USD 145	USD 145	USD 145
Arrancador kg/ha	100	100	100	100	120	100	80	60
Arrancador/ha	USD 75	USD 75	USD 75	USD 75	USD 90	USD 75	USD 60	USD 45
Semillas kg/ha	175	150	125	100	125	125	125	125
Semilla/ha	USD 62	USD 53	USD 45	USD 36	USD 45	USD 45	USD 45	USD 45
Cosecha	USD 132.8	USD 133.3	USD 140.5	USD 151.1	USD 141.3	USD 120.5	USD 131.2	USD 115.0
Seguro-Limp-Varios-Emb	USD 20	USD 20	USD 20	USD 20	USD 20	USD 20	USD 20	USD 20
COSTO DIREC	USD 650	USD 617	USD 615	USD 617	USD 631	USD 595	USD 591	USD 560
MM REGADOS	270	270	270	270	270	270	270	270
COSTO MM	USD 0.70	USD 0.70	USD 0.70	USD 0.70	USD 0.70	USD 0.70	USD 0.70	USD 0.70
TOTAL/HA	USD 188	USD 188	USD 188	USD 188	USD 188	USD 188	USD 188	USD 188
COSTO TOTAL	USD 838	USD 805	USD 803	USD 805	USD 819	USD 783	USD 779	USD 748
M BRUTO	USD 1.154	USD 1.196	USD 1.325	USD 1.510	USD 1.323	USD 991	USD 1.185	USD 930

Conclusiones:

Las parcelas con menor densidad de siembra fueron las que mayor rendimiento presentaron producto de una siembra temprana que permitió al cultivo mejorar la fertilidad de los macollos incrementando las espigas por metro cuadrado. Las buenas condiciones hídricas y nutricionales les permitieron a las plantas desarrollar mayor cantidad de espiguillas espiga⁻¹, obteniendo mayor cantidad de granos espiga⁻¹. Estos resultados muestran que con densidades de 120 plantas m⁻² se obtuvieron los rendimientos máximos en condiciones de riego en el sudoeste bonaerense.

En el ensayo de fertilidad, el aumento de fertilizante a la siembra nos significó mayor rendimiento. Confirmando que una buena condición nutricional favorece a un mejor desarrollo de la planta, logrando mayores rendimientos.

En cuanto a los análisis de proteína y gluten se concluyó que a medida que aumenta el contenido de nitrógeno mejora el porcentaje de gluten, por lo tanto, mejora la calidad del futuro pan. En la medida que dejamos fija la aplicación de nitrógeno, observamos que el porcentaje de gluten varía muy poco. En este ensayo no logramos obtener un sobreprecio por calidad, por lo cual, el aumento de gluten en las parcelas más fertilizadas no significó una mejora económica.

En el análisis económico se puede concluir que el tratamiento 4, fue el mejor económicamente, ya que presentó el mejor margen bruto y menores costos, siendo la parcela más eficiente. Utilizando menos semilla y produciendo más kilogramos por hectárea.

En resumen, en el sudoeste bonaerense, bajo condiciones de riego por pivote, se recomienda el uso de variedades de alto potencial de rendimiento, con una baja densidad de siembra (100 kg de semilla/ha) y altas dosis de fertilización (100 kg de PDA/ha). Esta combinación permite alcanzar no solo elevados rendimientos, sino también resultados económicos favorables.

Bibliografía:

- Abbate P.E., Miralles D.J., Ballesteros A.H.M. 2021. NUEVO MAPA DE SUBREGIONES TRIGUERAS ARGENTINAS Y DE OTROS CEREALES INVERNALES 2021. Documento PDF. INASE https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/subregiones_trigueras_1.pdf
- Allende Martínez ~ Lara Muro. Morfología y fisiología. Disponible en: <https://trabajoinformatica1516.wordpress.com/morfologia-y-fisiologia/>
- Berardo Angel. 2000. Manejo y fertilización de trigo en zona sur. Disponible en: <https://www.laboratoriofertilab.com.ar/Trabajos/Trigo2.pdf>
- Barrionuevo, Néstor; German, leonardol; Waldman, Cynthia. 2016. Análisis espacio temporal del riego por pivote central en la provincia de Buenos Aires en el período 1995-2015. Disponible en: https://www.ina.gob.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_36.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Cardinale Ignacio Javier. 2018. Respuesta a la fertilización nitrogenada según diferentes dosis y fuentes en el cultivo de trigo (*Triticum* sp.) Trabajo de Intensificación final de carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad católica Argentina. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/19769/2/respuesta-fertilizacion-nitrogenada.pdf>
- Contardi Matías – Terré Emilce. 2025. Guía del mercado de Trigo. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/guia-del>
- Estimaciones Agrícolas. 2024. Disponible en: <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>
- Gudelj, Vicente Jorge. (2021). *Fertilización del cultivo de trigo*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Regional Córdoba, EEA Marcos Juárez. Disponible en: https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/18695/INTA_CRC_cordoba_EEAMarcosJuarez_Gudelj_V_Fertilizacion_cultivo_trigo.pdf?sequence=1
- Galantini Juan, Landriscini María, Fernández Rodrigo. 2003. Fertilización con azufre. Disponible en: <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/fertilizacion-en-azufre.pdf>
- Herbin Tomás. 2020. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y sus componentes en tres variedades de trigo. Trabajo de Intensificación final de

- carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad católica Argentina. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/19595/1/efecto-densidad-siembra.pdf>
- Hurtado Federico. 2024. Evaluación de densidades y fertilización variable en trigo. Trabajo de Intensificación final de carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional del Sur. Disponible en: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/6815/HURTADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 - INTA Digital GEO. Disponible en: <https://geo-backend.inta.gob.ar/catalogue/#/dataset/230>
 - Miralles, D. J., González, F. G., Abeledo, L. G., Serrago, R. A., Alzueta, I., García, G. A., de San Celedonio, R. P., & Lo Valvo, P. J. (2014). Manual de trigo y cebada para el Cono Sur: Procesos fisiológicos y bases de manejo. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/137280>
 - Meteostat. 2024. _El clima y el tiempo promedio en todo el año en Pigüé. Disponible en: [Pigue Aerodrome | Historial Meteorológico | Meteostat](#)
 - Nabaes José. 2021. Evaluación de la fertilización nitrogenada continua en trigo bajo siembra directa. Trabajo de Intensificación final de carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional del Sur. Disponible en: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/5617/Nabaes,%20Jos%C3%A9%20Trabajo%20de%20Intensificaci%C3%B3n.pdf?sequence=1>
 - Nidera. 2023. Baguette-802. Disponible en: <https://niderasemillas.com.ar/trigo/baguette-802/#ficha>
 - USDA. 2024. Producción mundial de trigo. Disponible en: https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0410000?utm_source=chatgpt.com
 - Weather Spark. 2024. El clima y el tiempo promedio en todo el año en Pigüé. Disponible en: https://es.weatherspark.com/y/28450/Clima-promedio-en-Pig%C3%BC%C3%A9-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o#google_vignette

Anexo 1:

Tabla de análisis ANOVA.

Densidad	Rendimiento		Peso1000		Granos/espiguilla		Granos/espiga		Espiguilla/espiga		Espigas/m2	
	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor
Tratamiento	0.74	0.5344	0.60	0.6164	6.24	0.0014	8.27	0.0002	5.82	0.0021	0.16	0.9255
Bloque	0.17	0.91	3.65	0.02	2.10	0.1	1.12	0.35	3.37	0.02	0.25	0.86

Fertilización	Rendimiento		Peso1000		Granos/espiguilla		Granos/espiga		Espiguilla/espiga		Espigas/m2	
	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor	F	P-valor
Tratamiento	3.21	0.0329	0.18	0.9085	3.71	0.0192	4.6	0.0074	5.06	0.0046	2	0.1288
Bloque	0.49	0.69	0.66	0.57	2.16	0.1	2.18	0.1	1.21	0.31	0.63	0.59

Análisis de proteína y gluten:

Densidad										
Tratamiento	HDAD	GLUTEN	GLUTOMATIC (S.H.BCA)	PROT (%s.s.s)	PROT (13,5%)	PH	P/L	W		
125	12.7	22.30	25.40	11.7	10.1	77.46	1.32	235.32		
150	12.4	21.40	24.30	11.4	9.9	79.69	1.19	230.82		
175	14.3	25.30		13.2	11.4					

Fertilización										
Tratamiento	HDAD	GLUTEN	GLUTOMATIC (S.H.BCA)	PROT (%s.s.s)	PROT (13,5%)	PH	P/L	W		
60	12.1	18.80	20.40	10.3	8.9	78.77	1.36	102.16		
80	12	18.60	20.90	10.3	8.9	78.53	1.35	120.72		
100	12.3	19.30	22.20	10.4	9.0	78.56	1.65	160.06		
120	13.8	20.40	23.10	11.0	9.5	76.37	1.52	177.44		

