PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

Evaluación de la respuesta a la fertilización nitrogenada en trigo: rendimiento y calidad de los granos

Trabajo final de graduación para optar por el título de:

Ingeniero Agrónomo

Autor: Joaquín José Ibarbia

Tutor: Ing. Agr. René Jorge Martineau

Fecha de la defensa: 26/5/2020

Nota: 10 (diez)

RESUMEN

Las buenas prácticas agrícolas, entre ellas la fertilización inciden de manera directa sobre el rendimiento y la calidad final del cultivo. El trigo es un cultivo con altos requerimientos de nitrógeno y fósforo. Por lo tanto, la aplicación de estos nutrientes debe ser considerada en los planes de fertilización de la Pradera Pampeana.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de distintas estrategias de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad del grano.

Se realizaron dos experimentos en el partido de Lincoln durante la campaña 2019/2020 de trigo. A cada uno de ellos se lo dividió en tres parcelas principales en donde fertilizó a la siembra con dosis variables de urea y dentro de las cuales se subdividió en micro parcelas donde se realizó una fertilización foliar a dosis variables en antesis del cultivo.

Las variables observadas fueron rendimiento en kg ha^{-1}, y sus componentes principales (espigas m^2, granos $espiga^{-1}$ y peso de 1000 granos) y calidad del grano mediante el análisis de los componentes peso hectolítrico, contenido de proteína y gluten.

En los resultados se observaron diferencias en función a fertilización nitrogenada. La fertilización foliar en antesis mejoró la proteína del grano, pero no afectó a los componentes del rendimiento.

Palabras clave:

Trigo, fertilización, nitrógeno, rendimiento, proteína

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen 3
Palabras clave: 3
Introducción 5
Fertilización nitrogenada en trigo 5
Componentes del rendimiento 7
Componentes de la calidad 7
Hipótesis 9
Objetivos 9
Objetivo general 9
Objetivos específicos 9
Materiales y Métodos 10
Localización del experimento 10
Tipos de suelo 10
Régimen hídrico 11
Heladas 11
Diseño Experimental 12
Resultados y discusión 15
Rendimiento 15
Componentes del rendimiento 18
Componentes de la calidad 20
Conclusiones 25
Bibliografía 26
Anexos 29
Anexo I 29
Anexo II 37
Anexo III 38
Anexo IV 40

INTRODUCCIÓN

El trigo *(Triticum aestivum),* es el cultivo más sembrado en el mundo con una superficie anual de 219 millones de ha, seguido por el maíz con 177 millones de ha, el arroz con 162 millones de ha y la soja con 108 millones de ha (Abbate, et al., 2017). Además, este cultivo ocupa mundialmente el cuarto lugar, luego de la caña de azúcar, el maíz y el arroz con cáscara (Abbate, et al., 2017).

En Argentina el trigo es considerado como el cereal de invierno de mayor importancia. La superficie cultivada en la última década oscila entre los 4 y 6 millones de ha, observándose un gran aumento en las últimas campañas (Urriza & Moreno, 2017). La producción para la campaña 2019/2020 resultó ser un 1% inferior a la de la campaña 2018/2019, promediando los 18,8 millones de toneladas según el Informe de cierre de campaña de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Numerosos estudios (FAO, 2018) han demostrado que la producción mundial de cultivos debería duplicar la actual para el año 2050 y así lograr satisfacer las demandas proyectadas por la población, los cambios en la dieta y el aumento en el consumo de combustibles (FAO, 2009).

Una de las alternativas para aumentar la producción de los cultivos y satisfacer las crecientes demandas, es la maximización del rendimiento por unidad de área, y/o mejorar la calidad de los órganos de cosecha, como, por ejemplo, a partir del aumento en el contenido de proteína del grano. Esto es de vital importancia ya que el suelo es un factor de producción finito y el mundo se encuentra cercano al máximo de la superficie disponible para la producción de cultivos de manera sustentable (Rockström, et al., 2009). Actualmente, la producción de cultivos ha aumentado a tasas inferiores a las requeridas para satisfacer las demandas proyectadas en 2050 (Ray, et al., 2013).

La fertilización nitrogenada puede ser utilizada como una herramienta para aumentar el rendimiento. En nuestro país se utilizan aproximadamente 830.000 tn de fertilizantes nitrogenados, de los cuales el 26,5% es aplicado en el cultivo de trigo (IFA Stat, 2016). Sin embargo, la región pampeana ha tenido una importante extracción exacerbada de nutrientes por parte de los cultivos (Ladha, et al., 2016) y la fertilización nitrogenada no ha logrado satisfacer el balance negativo resultante.

Fertilización nitrogenada en trigo

El objetivo de la fertilización nitrogenada es maximizar el beneficio económico, es decir, tener el mayor retorno posible sobre lo que se invierte. Sin embargo, el exceso de nitrógeno puede producir plantas susceptibles al vuelco y la contaminación de cursos de agua por lavado o lixiviación. Como también, se deberá evitar un déficit que reduzca la producción y el ingreso generado por el cultivo.

Numerosos ensayos han demostrado que el rendimiento del cultivo de trigo aumenta con dosis crecientes de nitrógeno. Pruebas realizadas por Bergh, et al. (2007), han demostrado que en cultivos fertilizados con nitrógeno existen diferencias en rendimiento mayores a 1000 kg ha^{-1} con respecto al testigo, incluso cuando la

dosis empleada no es muy elevada, por ejemplo, 120 kg ha^{-1} de N promedio entre suelo y fertilizante.

A pesar de lo dicho anteriormente, existen dos leyes que se deberán tener en cuenta a la hora de tomar la decisión sobre la fertilización. La primera es la "Ley del mínimo" de Liebig en dónde se afirma que "el crecimiento no es controlado por el monto total de los recursos disponibles, sino por el recurso más escaso" (Sprengel, 1828). Esto quiere decir que sólo mediante el aumento de la cantidad del nutriente limitante se podía mejorar el crecimiento de una planta o cultivo (Imagen 1,Anexo III).

La segunda ley que será importante considerar es la "Ley de rendimientos decrecientes" que dice que "a cada incremento del factor limitante, elemento nutritivo que se encuentra en menor cantidad, corresponden incrementos de rendimientos en las cosechas cada vez más inferiores, hasta llegar a un incremento de rendimiento nulo" (Mitscherlich, 1909). Esto quiere decir que, en el momento en que el nutriente deja de ser limitante para el ambiente productivo donde se cultiva, se deja de registrar un incremento en el rendimiento (Imagen 2, Anexo III).

El momento en que el nitrógeno está disponible para el cultivo de trigo, influye en la acumulación y partición, tanto de la materia seca, como del nitrógeno en el grano. La disponibilidad temprana de nitrógeno se traduce normalmente en mejores rendimientos, mientras que su aplicación en etapas tardías puede mejorar la cantidad y calidad de las proteínas en grano (Sarandón, et al., 1986). Esto depende tanto de la cantidad de nitrógeno acumulado, como de la eficiencia en su partición hacia el grano, lo que puede diferir entre distintos genotipos (Cox, et al., 1985).

Eficiencia en el Uso de los Nutrientes (E.U.N)

Existen ciertos índices agronómicos que se usan para medir la eficiencia en el uso de los nutrientes (Dobermann, 2007):

1. Eficiencia Agronómica (E.A): Es la variación en el rendimiento del cultivo en kg respecto a los kg de nutriente aplicado.
2. Eficiencia aparente de Recuperación (E.R): Son los kg de nutriente absorbido respecto a los kg de nutriente aplicado.
3. Eficiencia Fisiológica (E.F): Es la variación en el rendimiento del cultivo en kg respecto a los kg de nutriente absorbido.

Dichos índices se verán afectados por factores como el clima, las precipitaciones o también por las prácticas de manejo, en las que se incluye el tipo de labranza, el momento de fertilización, el cultivo antecesor, la duración del barbecho, entre otros. Sin embargo, no resulta fácil determinar la eficiencia en el uso de nutrientes, aunque se estima que para la región pampeana se encuentra entre el 50 y el 80 % del nitrógeno aplicado (Quintero & Boschetti, 2016).

Buenas prácticas de fertilización, conocidas como las "4R" son fundamentales para no perder dicha eficiencia (Anexo IV). Una forma de aplicarlas es mediante la fertilización foliar, aunque esta alternativa se ve limitada por las bajas cantidades que se pueden adicionar por aplicación. Ante condiciones favorables para la perdida de

nitrógeno, se debe tratar de incorporar fertilizante al suelo o utilizar dosis bajas en más de una aplicación (Quintero & Boschetti, 2016).

Componentes del rendimiento

El rendimiento puede ser analizado en función de los componentes numéricos que lo definen. Los dos principales son: el número de granos ha^{-1} y el peso unitario de los granos (Cárcova, et al., 2003).

El número de granos ha^{-1} es generado por un proceso secuencial a lo largo del ciclo del cultivo, en donde existe cierta superposición temporal en la generación y el desarrollo de estructuras reproductivas (Cárcova, et al., 2003). El número potencial de granos sería aquel originado si todas las estructuras reproductivas generadas por el cultivo dieran origen a un grano maduro. El número final de granos obtenido es inferior al número potencial de granos, pudiendo deberse ello a que estructuras vegetativas secundarias (macollos) no desarrollen una estructura reproductiva (espiga), o a que no todas las flores diferenciadas en la espiga llegan a ser flores fértiles fecundadas, o el aborto de flores fecundadas, siendo este uno de los factores más importantes (Slafer, et al., 2003). Esta diferencia entre el número potencial y el número final de granos logrados se debe a variables genotípicas y ambientales (Granieri & Trabucco, 2009) (Imagen 3, Anexo III).

Los subcomponentes del número de granos ha^{-1} son el número de espigas m^2 (el primero en definirse) y el número de granos $espiga^{-1}$. Este último es dependiente del número de granos por espiguilla y del número de espiguillas por espiga. Ambos subcomponentes determinan el rendimiento y comienzan a definirse muy tempranamente en la ontogenia del cultivo (Slafer, et al., 2003).

El peso unitario de los granos es el último componente numérico del rendimiento en ser determinado. Este puede ser expresado como el producto entre la tasa de acumulación de biomasa en grano y la duración de la etapa de llenado (Granieri & Trabucco, 2009).

Componentes de la calidad

La definición de calidad del grano de trigo depende del destino final del producto y es determinada por los requerimientos tanto de la industria como del mercado. Este concepto es dinámico, ya que se modifica en el tiempo, con los distintos usos y necesidades de cada región o país, también puede cambiar de acuerdo con nuevos conocimientos, criterios de evaluación o preferencias del comprador (Savin & Sorlino, 2003).

La calidad del trigo puede ser determinada por distintos atributos como las características genotípicas o estructurales que definen al grano y sus reservas como el almidón y las proteínas que se encuentran en el endosperma del grano (Peña, et al., 2002).

Para la elaboración de pan, se consideran ciertos parámetros que afectan directamente a la calidad de la harina. Algunos de estos son el peso hectolítrico, el contenido de proteína, o el contenido de gluten (considerados en este trabajo), pero

también se podría tener en cuenta a la fuerza, la tenacidad o la elasticidad (Molfese, et al., 2015).

El peso hectolítrico (PH) sirve para poder determinar la sanidad del grano y esto es importante ya que cuanto más sano este el grano mayor será la proporción de almidón y esto permitirá que el ensorperma, que es la mayor fuente de harina del grano, tenga una mejor separación con el resto del grano y así obtener una harina de mejor calidad.

La concentración de proteína es un factor clave en la calidad panadera ya que va a determinar las características físicas de la masa como la plasticidad, elasticidad y fuerza (Passarella & Savin, 2003). La concentración proteica del grano dependerá del genotipo y de las condiciones ambientales y de manejo dadas durante el ciclo del cultivo (Alzueta, et al., 2017), entre ellas, la disponibilidad de nitrógeno (Slafer, et al., 2003) (Imagen 4, Anexo III).

El gluten está formado principalmente por dos proteínas, la gliadina y la glutenina. Su contenido incide en la calidad de la harina ya que le confiere propiedades como la cohesión o la viscosidad importantes para la elaboración de productos horneados como las galletitas o los panes (Villanueva, 2014).

Existen bonificaciones tanto para el productor como para el acopiador del 2% por cada punto adicional de proteína logrado. Pero también se pueden tener descuentos para aquellos granos que se encuentren por debajo de la base de comercialización del 11% de proteína (Bolsa de Cereales de Rosario, 2019). Por eso, será muy importante tener en cuenta este componente ya que incide directamente en el precio final del grano.

Por su parte, el molinero, quien se ocupa de la elaboración de la harina, considera de mayor importancia al contenido de gluten ya que el mal almacenamiento podría desnaturalizar a las proteínas o el secado inadecuado podría también generar una alteración en el contenido de gliadina y glutenina. Gracias a eso, el contenido de gluten pasó a ser considerado como un parámetro clave en la comercialización del cereal en nuestro país (Cuniberti & Mir, 2012).

HIPÓTESIS

1. Existe una respuesta creciente en el rendimiento del cultivo de trigo, según sus componentes numéricos (espigas m^{-2}, granos $spiga^{-1}$ y peso de 1000 granos), a dosis crecientes de nitrógeno aplicado a la siembra.

2. Existe una respuesta creciente de la calidad del cultivo de trigo, según sus componentes numéricos (peso hectolitrito, contenido de proteína y gluten), a dosis crecientes de nitrógeno aplicado a la siembra.

3. El uso de fertilizante foliar en antesis del cultivo de trigo genera aumentos en el contenido de proteína, pero no así en el rendimiento en comparación con un testigo sin fertilizar.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la respuesta del cultivo de trigo a la fertilización nitrogenada durante la siembra y antesis, para poder determinar estrategias que ayuden a maximizar la eficiencia en el uso del nitrógeno.

Objetivos específicos

1. Evaluar el rendimiento del cultivo de trigo en término de sus componentes numéricos (espigas m^{-2}, granos $espiga^{-1}$ y peso de 1000 granos) en respuesta a la fertilización nitrogenada con respecto a un testigo.

2. Evaluar la calidad del cultivo de trigo en término de sus componentes numéricos (peso hectolitrito, contenido de proteína y gluten) en respuesta a la fertilización nitrogenada con respecto a un testigo.

3. Medir el incremento de proteína, en respuesta a la aplicación de un fertilizante foliar, en variedades de trigo que normalmente presentan bajos tenores proteicos (DM Algarrobo y DM Ceibo).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

Se hicieron dos ensayos en ambientes contrastantes durante la campaña 2019/2020 de trigo en el partido de Lincoln, Provincia de Buenos Aires. Corresponde a la subregión ecológica II sur según las regiones trigueras (Imagen 5, Anexo III).

El primer ensayo fue llevado a cabo en el lote 1 C del establecimiento “La Eulalia” (35°04´35” S; 61°42´58” O) ubicado en la localidad de Arenaza. El segundo ensayo se desarrolló en el lote 9 del establecimiento “26 de abril” (35°04´38” S; 61°52´12” O) ubicado en la localidad de Roberts.

Tipos de suelo

Según la carta de suelos del INTA, ambos ensayos corresponden a la unidad cartográfica Ortiz de Rosas 24 (Or24) conformada por el complejo series Ortiz de Rosas (70%), Norumbega (20%) y Estación Naón (10%). La serie predominante se caracteriza por tener suelos profundos, oscuros, moderadamente bien drenados. Está formado por una acumulación de material arenoso, compuesto por un horizonte B textural de un sedimento más antiguo con textura franco arcillo arenoso, no alcalino, no salino, con pendientes de 1 %.

El 27 de junio de 2019 se hicieron muestreos de suelos para los dos ensayos con el fin de determinar algunos parámetros de su contenido nutricional. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Resultados del análisis de suelo

Análisis de Suelo	La Eulalia	26 de abril
N-nitratos (0-20)	12,5 ppm	9,0 ppm
N-nitratos (0-40)	3,5 ppm	4,8 ppm
P extraíble (0-20)	24,6 ppm	6,8 ppm
S-sulfato (0-20)	6 ppm	3 ppm
MO % (0-20)	3,5	3,2
Carbono oxidable % (0-20)	2,01	1,84
Nitrógeno disponible (kg N. ha^{-1})	45	42

Para suplir las diferencias entre los lotes se realizaron las siguientes fertilizaciones: 94 kg ha^{-1} de MAP (fosfato monoamónico con 11% N y 52% P) a la siembra como arrancador en el lote 26 de abril, mientras que en La Eulalia se aplicaron 50 kg ha^{-1} de MAP. Para aumentar los niveles de azufre se fertilizó con urea azufrada (41% N y 5% S) a dosis variables. En el ensayo de 26 de abril el testigo se fertilizó con 163 kg ha^{-1} de urea, mientras que en La Eulalia no se fertilizó.

Régimen hídrico

Los registros históricos de precipitaciones entre ambos establecimientos fueron similares, siendo la media anual de los últimos 20 años de 979 mm para La Eulalia y de 1009 mm para 26 de abril.

El año 2019 fue un año en el que las lluvias estuvieron por debajo de la media histórica. En La Eulalia llovieron 708 mm y en 26 de abril llovieron 801 mm anuales (Tabla 2).

Tabla 2: Registro de precipitaciones 2019

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
La Eulalia	224	80	79	39	35	25	0	0	0	34	85	107	708
26 de abril	221	87	79	55	65	24	0	0	15	47	96	112	801

Es importante destacar que el día 12 de diciembre de 2019 cayó granizo sobre el trigo de 26 de abril, a dos días de su cosecha. Este produjo una merma estimada en el rendimiento del 15%. El ensayo de La Eulalia no se vio afectado.

Heladas

Los registros más próximos son de la Estación Meteorológica de Junín, la cual indica como fecha media de la primera helada el 23 de abril, con un desvío estándar de 17 días. Mientras que, la fecha media de la última helada es el 5 de octubre, con un desvío estándar de 22 días.

Durante el ciclo del cultivo, se registraron 55 heladas agrometeorológicas, es decir con temperaturas diarias mínimas menores o iguales a 3°C. A su vez, se registraron 23 heladas meteorológicas, es decir con temperaturas diarias mínimas menores o iguales a 0°C (Tabla 3).

Tabla 3: Registro de heladas 2019

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Heladas agrometeorológicas	0	0	0	0	3	6	20	16	10	0	0	0	55
Heladas meteorológicas	0	0	0	0	1	1	11	6	4	0	0	0	23

La fecha de la última helada meteorológica de este año fue registrada el 21 de septiembre. No se registraron heladas durante el periodo de floración del cultivo, siendo este el momento más sensible en donde se puede afectar al rendimiento.

Diseño Experimental

El diseño experimental se realizó en parcelas subdivididas en bloques distribuidos al azar con cuatro repeticiones para cada tratamiento. Cada unidad experimental se dispuso de 3 metros de ancho por 6 metros de largo (18 m^2).

Las variables evaluadas corresponden a tres dosis de fertilizante nitrogenado aplicado a la siembra (parcelas principales), sobre las cuales, en antesis del cultivo de trigo se aplicaron tres dosis de fertilizante nitrogenado foliar (micro parcelas). La fuente nitrogenada utilizada a la siembra fue urea azufrada (41%N 5%S), mientras que en antesis se fertilizó con Nitroplus 18[1] (18%N 7%Ca).

Las dosis empleadas de urea a la siembra fueron las siguientes:

- Ensayo de La Eulalia: 0 (Testigo), 200 y 300 kg. ha^{-1}
- Ensayo de 26 de abril: 163 (Testigo), 258 y 319 kg. ha^{-1}

Las dosis empleadas de Nitroplus 18 fueron las mismas para ambos ensayos, siendo estas de 0 (testigo), 5 y 10 lt ha^{-1}.A continuación, se encuentra detallada la conformación de cada tratamiento para ambos ensayos (Tabla 4).

Tabla 4: Detalle de cada tratamiento para cada ensayo

LA EULALIA			**26 DE ABRIL**		
Dosis siembra (kg urea/ha)	Dosis foliar (lt/ha)	Tratamiento	**Dosis siembra (kg urea/ha)**	Dosis foliar (lt/ha)	Tratamiento
0	0	T1	**163**	0	T1
	5	T2		5	T2
	10	T3		10	T3
200	0	T4	**258**	0	T4
	5	T5		5	T5
	10	T6		10	T6
300	0	T7	**319**	0	T7
	5	T8		5	T8
	10	T9		10	T9

Labores de La Eulalia

El lote 1C, en donde se realizó el ensayo de La Eulalia, tenía como cultivo antecesor maíz, que fue cosechado el 15 de abril de 2019 y tuvo un rendimiento promedio de 9700 kg ha^{-1}.

Para el control de malezas en barbecho se realizó una pulverización el 20 de mayo de 2019 con 1,8 lt ha^{-1} de Panzer Gold, 0,7 lt ha^{-1} de 2,4 D no volátil y 0,15 lt ha^{-1} de Dicamba.

[1] Este es un fertilizante líquido que contiene nitrógeno amínico 240 g/l y calcio soluble 92 g/l.

La siembra se realizó el 27 de junio de 2019 con 50 kg ha^{-1} de MAP como arrancador. Se consideró el análisis de suelo que determinó alto contenido de fosforo en el lote.

Se utilizó una sembradora Crucianelli modelo Pionera 4017 de 40 líneas a 17,5 cm. La densidad de siembra fue de 125 kg ha^{-1} de semilla. La variedad de trigo utilizada para este ensayo fue DM Algarrobo. Esta es una variedad de ciclo intermedio cuyo peso de 1000 granos es de 36 g y es de grupo de calidad 2.

La aplicación de urea azufrada (41%N 5%S) se realizó el mismo día de la siembra de forma incorporada con la misma sembradora. Se realizaron aplicaciones correspondientes a los distintos tratamientos a analizar.

Debido a la incidencia de enfermedades fúngicas como la Mancha amarilla (*Dreschlera tritici-repentis*), la Roya anaranjada *(Puccinia recondita*) y la Septoriosis de la hoja (*Septoria tritici*) se realizó una aplicación de 0,6 lt ha^{-1} del fungicida Criptón (protioconazole y trifloxistrobin) el día 1 de octubre de 2019.

El día 18 de octubre de 2019 se realizó la fertilización foliar durante el estadio de antesis cultivo. Se aplicaron dos dosis de Nitroplus 18 (5 y 10 lt ha^{-1}) dejando un testigo sin fertilizar.

El día 27 de noviembre de 2019 se realizó el conteo de espigas por metro lineal y el 5 de diciembre el conteo de granos por espiga. El ensayo se cosechó manualmente el 13 de diciembre de 2019. La superficie cosechada fue de 2 m^2 en el centro de cada unidad experimental para disminuir el efecto borde de cada tratamiento y así reducir errores de muestreo. El material cosechado se embolsó y posteriormente se trilló para poder analizar los componentes del rendimiento y calidad del grano.

Labores de 26 de abril

El lote 9, en donde se realizó este ensayo, tenía como cultivo antecesor soja, que fue cosechada el 12 de abril de 2019 y tuvo un rendimiento promedio de 3000 kg. ha^{-1}.

Para el control de malezas en barbecho se realizó una pulverización el 8 de junio de 2019 con 1,8 lt ha^{-1} de Power Plus, 0,6 lt ha^{-1} de 2,4D 100%, 0,1 lt ha^{-1} de Flumioxazin y 0,03 lt ha^{-1} de humectante.

La aplicación de urea se realizó el 27 de junio de 2019 de forma incorporada con una fertilizadora Chalero de 27 líneas a 35 cm. Se realizaron dos pasadas por tratamiento.

La siembra se realizó el 8 de julio de 2019 con 94 kg ha^{-1} de MAP como arrancador. Se utilizó una sembradora marca Tanzi Airdrill de 63 líneas configurada con una distancia entre surcos de 17,5 cm. La densidad de siembra fue de 141 kg ha^{-1} de semilla. La variedad utilizada para este ensayo fue DM Ceibo. Es una variedad de ciclo corto cuyo peso de 1000 granos es de 35 g y al igual que la variedad DM Algarrobo es de grupo de calidad 2.

Al igual que para el ensayo de La Eulalia, en este caso también se realizó una pulverización con 0,6 lt ha^{-1} de Criptón (protioconazole y trifloxistrobin) el día 22 de octubre para el control enfermedades fúngicas.

El día 19 de octubre de 2019 se realizó la fertilización foliar durante el estadio de antesis del cultivo. Al igual que en La Eulalia, se aplicaron dos dosis de Nitroplus 18 (5 y 10 lt ha^{-1}) dejando un testigo sin fertilizar.

Para la cosecha y determinación de los componentes de rendimiento se realizó el mismo procedimiento que se utilizó en el ensayo de La Eulalia. La cosecha se realizó el 14 de diciembre de 2019.

Determinación de componentes de rendimiento y calidad

Para el cálculo del rendimiento se analizaron sus componentes separadamente. Se pesó la muestra de cada parcela y se tomó la humedad para obtener el rendimiento corregido por humedad. Se consideró una humedad del 14% (base comercial).

Para obtener los datos de calidad, se realizaron muestras de 500 gramos las cuales fueron llevadas a un laboratorio, en donde se analizó el contenido de proteína (%), gluten (%) y el peso hectolítrico (PH).

Luego de obtener los resultados, se procedió a realizar el análisis estadístico, en el que se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo, et al., 2015). En dicho software se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) y la comparación de las medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación de 0,05. Para el análisis de rendimiento y la relación gluten/proteína se realizaron evaluaciones a través de un análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico mostró que no hubo interacción entre la fertilización que se hizo a la siembra con la que se aplicó en antesis ($p>0,05$), para ninguno de los parámetros de rendimiento evaluados. En cuanto a los parámetros de calidad, se observó interacción en casi todos los componentes analizados entre la dosis a la siembra y la dosis foliar ($p<0,05$). La única excepción fue para el peso hectolítrico (PH) del ensayo de 26 de abril, en donde no se detectó dicha interacción ($p>0,05$).

Se analizaron los efectos principales de cada variable, es decir, el efecto de la dosis de la fertilización a la siembra y el de la fertilización foliar en antesis. A continuación, se mostrará el análisis realizado para el cada uno de los componentes del rendimiento y calidad del cultivo de trigo.

Rendimiento

De los dos componentes principales que forman el rendimiento, el número de granos producidos es el que mejor refleja las variaciones en el rendimiento final. Este se determina en un período comprendido entre la siembra y el cuaje de granos. El segundo de los factores, el peso de los granos tiene menos impacto en el rendimiento por el hecho de que se define en un tiempo más acotado durante el ciclo ontogénico del cultivo (entre floración y madurez fisiológica).

La evaluación de estos componentes se ha considerado fundamental para poder determinar los cambios en el rendimiento tanto por causas de manejo como también por efecto del genotipo (Ioele, et al., 2011). También factores ambientales como la temperatura y la radiación regulan el crecimiento del cultivo de trigo. Estos pueden ser relacionados mediante el cociente fototermal (Q) (Gráfico 3, Anexo II).

El rendimiento promedio del ensayo de La Eulalia fue de 5008 kg ha^{-1} y el de 26 de abril fue de 4056 kg ha^{-1}. Ambos ensayos se vieron afectados por la falta de agua que se registró durante gran parte del ciclo del cultivo, y principalmente durante el período crítico. Las caídas en el rendimiento, al estudiar el efecto de la sequía, se asocian principalmente a una reducción en el número de granos más que en el peso de estos (Abbate & Cantarero, 2015).

Los resultados obtenidos para el análisis de rendimiento indicaron que, en el ensayo de La Eulalia, hubo diferencia significativa ($p<0,05$) entre todos los distintos tratamientos de fertilización a la siembra (Tabla 5).

Por su parte, en el caso de 26 de abril, solamente dicha diferencia se observó entre el tratamiento de 319 kg de urea ha^{-1} y el testigo. Esto pudo deberse a que, además de las condiciones de sequía que afectaron al máximo potencial de rendimiento, en este ensayo se registró granizo a dos días de la cosecha provocando una merma aproximada del 15% en el rendimiento.

En cuanto a la fertilización foliar, no se registraron diferencias significativas respecto al testigo en ninguno de los ensayos. Esto pudo haberse debido a dos factores importantes, el momento de la fertilización y las condiciones ambientales. El momento de la fertilización, hace referencia a que como la fertilización foliar se realizó

en antesis, es probable que los componentes del rendimiento, como el número de granos, estuvieran definidos y que, pero no el peso de los granos. Mientras que las condiciones ambientales, hace referencia a que durante el periodo crítico del cultivo (donde se definen en su mayor medida los componentes del rendimiento) se registraron condiciones ambientales adversas de sequía principalmente y altas temperaturas. Como los factores del ambiente regulan el crecimiento, seguramente esto haya afectado a que se exprese el mayor potencial de rendimiento.

Tabla 5: Test de Tukey para rendimiento de La Eulalia y 26 de abril.
Medias con letra en común no son significativamente diferentes (p>0,05)

LA EULALIA				
Dosis siembra	Medias			
300	5806	A		
200	4950		B	
0	4267			C

26 DE ABRIL			
Dosis siembra	Medias		
319	4327	A	
258	4079	A	B
163	3762		B

Dosis foliar	Medias	
5	5039	A
10	5034	A
0	4949	A

Dosis foliar	Medias	
0	4075	A
5	4051	A
10	4042	A

La correlación entre las distintas dosis de urea (kg ha^{-1}) y el rendimiento (kg ha^{-1}) fue elevada. Se observó una respuesta lineal del rendimiento a medida que se aumentó la dosis de N. Esto quiere decir, que no se llegó a la dosis umbral en la que la pendiente de la curva comienza a caer. Los valores de R^2 fueron de 0,87 para el ensayo de La Eulalia y de 0,84 para el ensayo de 26 de abril (Gráfico 1).

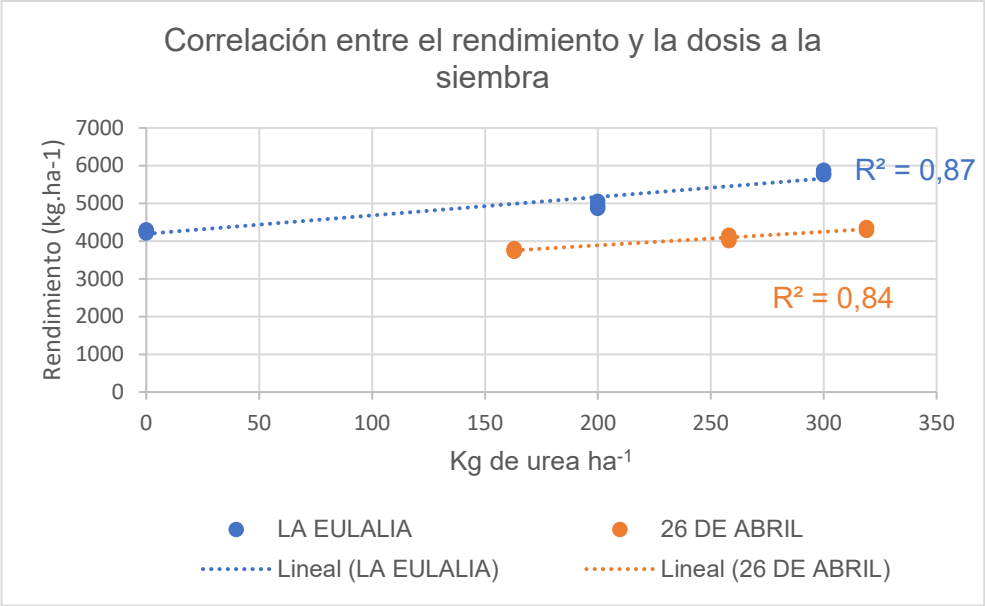

Gráfico 1: Correlación entre el rendimiento y la dosis de urea (kg ha^{-1}) a la siembra de trigo

Estos resultados parecerían indicar que las dosis promedio de 300 y 319 kg urea ha^{-1} bajo las condiciones ensayadas permitirían maximizar los rendimientos del cultivo de trigo.

A partir de los valores de rendimiento obtenidos, se evaluó la eficiencia en el uso del nitrógeno mediante el cálculo de Eficiencia Agronómica (E.A.). Dicho índice surge del aumento de rendimiento (en comparación al testigo) en función a la dosis de nutriente aplicado. Para eso se consideró que la urea azufrada que se utilizó para los ensayos cuenta con un 41% de nitrógeno (Tabla 6).

Tabla 6: Evaluación de la Eficiencia Agronómica (E.A.)

	Dosis siembra (kg urea. ha^{-1})	Kg de N ha^{-1} (Urea 41% N)	Rendimiento (kg ha^{-1})	Incremento sobre el testigo (kg ha^{-1})	Eficiencia agronómica (kg trigo kg^{-1} de N)
LA EULALIA	0	-	4267	-	-
	200	82	4950	683	8,3
	300	123	5806	1540	12,5
	PROMEDIO	103	5008	1112	10,4
26 DE ABRIL	163	67	3762	-	-
	258	106	4079	318	8,2
	319	131	4326	565	8,8
	PROMEDIO	101	4056	441	8,5

Según Ciampitti & García, 2008, la eficiencia agronómica para el cultivo de trigo se encuentra dentro de un rango entre 10 y 25 kg de trigo kg^{-1} de nitrógeno. Por lo tanto, los resultados obtenidos indican que el ensayo de La Eulalia se encuentra dentro de dicho rango (aunque en el extremo inferior), pero el de 26 de abril se encuentra fuera de dicho rango.

Esto último puede deberse a las condiciones climáticas adversas imperantes durante el ciclo del cultivo. La sequía entre julio y septiembre pudo haber afectado el rendimiento alcanzado relativo a la dosis de fertilizante aplicado. Por último, el granizo que sufrió el ensayo de 26 de abril generó una reducción en el rendimiento.

Entre el 20 y el 50% del nitrógeno se puede perder del sistema provocando un perjuicio tanto económico como ambiental. Las pérdidas de nitrógeno se producen por diferentes vías de distinta magnitud e importancia como pueden ser la volatilización de amoniaco, la desnitrificación, la lixiviación o el escurrimiento superficial (Quintero & Boschetti, 2016). Como se mencionó, es probable que en lotes analizados las pérdidas se debieran a la volatilización dada por las altas temperaturas y la baja humedad (Quintero & Boschetti, 2016).

Componentes del rendimiento

Número de granos

Para determinar el número de granos, se registraron sus dos componentes principales: el número de espigas m^2 y el número de granos $espiga^{-1}$. Para el primero de ellos se hicieron dos recuentos por unidad experimental en el que se midió la cantidad de espigas por metro lineal y luego se hizo un promedio. Para el segundo de los componentes, se cortaron espigas de tamaño grande, mediano y pequeño de cada unidad experimental y se seleccionó las de tamaño promedio para realizar el conteo de granos $espiga^{-1}$.

Los resultados tanto para La Eulalia como para 26 de abril fueron similares. El estrés hídrico que sufrió el cultivo impactó negativamente sobre los componentes del rendimiento. A continuación, se realizará una evaluación de los resultados obtenidos.

1. *Espigas m^2*

En ambos ensayos se observó una tendencia a aumentos del número de espigas m^2 con dosis crecientes de nitrógeno a la siembra. Sin embargo, estos resultados solo fueron significativos ($p<0,05$) en los tratamientos de mayor fertilización respecto al testigo (Tabla 7).

La baja respuesta a la fertilización a la siembra puede atribuirse, a que el estrés hídrico registrado durante el periodo de crecimiento de las espigas redujo la intercepción de radiación solar y esto afectó al crecimiento del cultivo al reducir la fotosíntesis foliar (Subrahmanyam, et al., 2006). Además, las deficiencias moderadas de agua durante el período de crecimiento de las espigas pueden generar un acortamiento dicho periodo a partir de un adelantamiento de la fecha de antesis (Magrín, 1990).

Respecto al análisis de la fertilización foliar, en ambos ensayos no se registraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos ($p>0,05$). Esto se debe a que, en antesis, cuando se realizó esta fertilización, ya estaba definido en gran parte el número de espigas m^2.

Tabla 7: Test de Tukey para número de espigas m^2 de La Eulalia y 26 de abril
Medias con letra en común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

LA EULALIA				26 DE ABRIL			
Dosis siembra	Medias			**Dosis siembra**	Medias		
300	423	A		**319**	475	A	
200	394	A	B	**258**	458	A	B
0	359		B	**163**	446		B
Dosis foliar	Medias			**Dosis foliar**	Medias		
0	396	A		**0**	460	A	
10	392	A		**5**	460	A	
5	390	A		**10**	459	A	

2. *Granos. espiga^{-1}*

Se registró un aumento en el número de granos espiga^{-1} a dosis crecientes de nitrógeno a la siembra, para ambos ensayos. Sin embargo, solamente en el tratamiento con 300 kg de urea ha^{-1} del ensayo de La Eulalia se observaron diferencias significativamente superiores ($p<0,05$) respecto al testigo (Tabla 9).

La formación de los granos dentro de la espiga pudo verse afectada por las condiciones climáticas adversas. Según los registros de precipitaciones, hubo 115 sin lluvias (entre el 17 de junio y el 13 de octubre de 2019), durante gran parte del período de crecimiento de espigas.

Si los factores ambientales son desfavorables durante el período crítico, esto incidirá negativamente sobre el número final de flores fértiles en el momento de floración del cultivo (Satorre, et al., 2004).

El estrés hídrico pudo haber reducido el número de granos a través de un menor crecimiento del cultivo, principalmente ya que durante el período de crecimiento de las espigas no se logra alcanzar el área foliar necesaria para lograr la máxima captura de radiación solar (Fischer, 1981).

La falta de agua reduce el número de granos espiga^{-1} ya que afecta indirectamente al crecimiento del cultivo, por falta de expansión del área foliar, y directamente a la fertilidad de las flores, alterando el período de crecimiento de las espigas (Abbate & Cantarero, 2015).

Respecto al análisis de la fertilización foliar, no se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos en ninguno de los dos ensayos. Esto pudo haber sido porque en el momento que se hizo la fertilización, ya estaba definido este componente en gran parte sumado a las condiciones climáticas adversas durante el periodo crítico del cultivo. Esto redujo la capacidad de establecimiento de las flores fértiles a granos (cuaje), disminuyendo el número finalmente alcanzado (Satorre, et al., 2004).

Tabla 8: Test de Tukey para número de granos espiga^{-1} de La Eulalia y 26 de abril
Medias con letra en común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

LA EULALIA			
Dosis siembra	Medias		
300	46	A	
200	44	A	B
0	42		B

Dosis foliar	Medias	
5	45	A
10	44	A
0	44	A

26 DE ABRIL		
Dosis siembra	Medias	
319	37	A
258	36	A
163	35	A

Dosis foliar	Medias	
0	36	A
5	36	A
10	36	A

Peso de los granos

1. *Peso de 1000 granos (P1000)*

Para evaluar este componente, se midió el peso de 1000 granos (P1000) con una balanza de precisión. En ambos ensayos, los valores aumentaron junto con la dosis de nitrógeno (aplicado a la siembra) como respuesta a la mayor disponibilidad de recursos durante el llenado del grano (Tabla 9).

En el ensayo de La Eulalia, se observó una diferencia significativa entre los tres tratamientos de fertilización a la siembra ($p<0,05$). Para el caso de 26 de abril, solamente dicha diferencia se manifestó entre el tratamiento con 319 kg de urea ha^{-1} y el testigo. Esto último pudo haber sido debido a que, si bien las dosis más elevadas tienen mayor disponibilidad de recursos, éstos se pudieron haber distribuido en un mayor número de granos o un mayor número de espigas, por lo que el peso individual de cada grano no es sustancialmente mayor al de las dosis más bajas.

Respecto al análisis de la fertilización foliar, en el ensayo de La Eulalia, ambos tratamientos fertilizados en antesis presentaron diferencias significativamente superiores al testigo. Mientras que, en el ensayo de 26 de abril, el único tratamiento que presento diferencias respecto al testigo fue el tratamiento con 10 lt ha^{-1}. En ninguno de los ensayos se observó una diferencia significativa para el P1000 entre las dosis de 5 y 10 lt ha^{-1}.

El P1000 promedio para ambos ensayos fue de 36 g aproximadamente. Sin embargo, en el caso de La Eulalia, solamente se observó que el tratamiento de 300 kg de urea ha^{-1} mostró resultados superiores a este peso, que es el indicado por el semillero para la variedad DM Algarrobo, que fue la variedad utilizada en este ensayo. En el caso de 26 de abril, todos los tratamientos superaron el peso de 35 g que es el indicado por el semillero para la variedad DM Ceibo, que fue la utilizada en este ensayo.

Tabla 9: Test de Tukey para el peso de 1000 granos de La Eulalia y 26 de abril
Medias con letra en común no son significativamente diferentes (p>0,05)

LA EULALIA				
Dosis siembra	Medias			
300	37,0	A		
200	35,9		B	
0	35,2			C

Dosis foliar	Medias		
5	36,3	A	
10	36,2	A	
0	35,7		B

26 DE ABRIL				
Dosis siembra	Medias			
319	36,9	A		
258	36,3			B
163	35,8			B

Dosis foliar	Medias			
10	36,6	A		
5	36,3	A		B
0	36,0			B

Componentes de la calidad

Se realizó un análisis en laboratorio de la calidad comercial del trigo en el que se evaluaron tres de los principales componentes que afectan a la calidad del grano.

Estos son, el PH, el contenido de proteína (%) y el contenido de gluten (%). A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los ensayos.

Peso hectolitrico

Los resultados obtenidos para el PH fueron variables. En el ensayo de La Eulalia se registró una interacción entre la dosis a la siembra y la dosis foliar ($p<0,05$), pero en el caso de 26 de abril no fue así ($p>0,05$). Sin embargo, en ambos casos se observó una alta respuesta a la fertilización foliar en antesis y una baja a la realizada en la siembra (Tabla 10).

Según las Normas de Comercialización de la Bolsa de Cereales de Rosario, se considera a un trigo de grado 1 como aquel que supera los 79 kg hl^{-1}. El promedio de PH del ensayo de La Eulalia fue de 78,45 kg hl^{-1}, siendo este un valor que corresponde a un trigo de grano 2. Sin embargo, cuatro de los tratamientos superaron dicho umbral, destacándose principalmente los fertilizados con 10 lt ha^{-1} de fertilizante foliar en antesis. El promedio de PH para el ensayo de 26 de abril fue de 79,87 kg hl^{-1}, superando el umbral que lo califica al trigo como grado 1. En este caso seis tratamientos superaron el umbral, en dónde se destacan principalmente aquellos que fueron con 5 y 10 lt ha^{-1} de fertilizante foliar en antesis.

Si se analiza la fertilización a la siembra, en el ensayo de La Eulalia solamente hubo diferencias significativas ($p<0,05$) entre el tratamiento testigo (sin fertilizar) y el tratamiento de 200 kg de urea ha^{-1}. Por su parte en el caso de 26 de abril, no existieron diferencias significativas entre las distintas dosis aplicadas a la siembra ($p>0,05$).

La baja respuesta a la fertilización nitrogenada se puede atribuir a que los recursos disponibles por el cultivo a inicios del ciclo hayan sido distribuidos para diferenciar otros componentes, como aquellos que afectan al rendimiento, por ejemplo, el número de granos. Además, pérdidas de nitrógeno, principalmente por volatilización se ven favorecidas por condiciones adversas como las altas temperaturas y la baja humedad. De esta forma se puede perder entre un 10 y un 40% del nitrógeno aplicado (Quintero & Boschetti, 2016).

Tabla 10: Test de Tukey para el peso hectolitrico de La Eulalia y 26 de abril
Medias con letra en común no son significativamente diferentes (p>0,05)

LA EULALIA					26 DE ABRIL				
Dosis siembra	Medias				**Dosis siembra**	Medias			
0	78,86	A			**163**	79,95	A		
300	78,42	A	B		**319**	79,90	A		
200	78,12		B		**258**	79,75	A		
Dosis foliar	Medias				**Dosis foliar**	Medias			
10	79,92	A			**10**	81,02	A		
5	78,50		B		**5**	80,33		B	
0	76,99			C	**0**	78,25			C

Proteína (%)

Los resultados obtenidos indican que en ambos ensayos se registró interacción entre la fertilización a la siembra y la foliar ($p<0,05$) para el contenido de proteína. En general se registró una alta respuesta a la fertilización foliar (Tabla 11).

Casi todos los tratamientos superaron el valor de 11% de proteína, que es el valor base para evitar descuentos en la comercialización. La única excepción fue la del tratamiento testigo del ensayo de La Eulalia, que fue el único tratamiento que no recibió ninguna de las dos fertilizaciones. Esto permite remarcar la importancia de la fertilización, ya que permite hacer la diferencia entre calificar dentro del estándar comercial o tener descuentos en el precio por bajo contenido de proteína.

Tabla 11: Test de Tukey para el contenido de proteína (%) de La Eulalia y 26 de abril
Medias con letra en común no son significativamente diferentes (p>0,05)

LA EULALIA							26 DE ABRIL					
Dosis siembra	Dosis foliar	Medias					**Dosis siembra**	Dosis foliar	Medias			
300	10	13,6	A				**319**	10	13,1	A		
300	5	12,9	A	B			**319**	5	12,6	A	B	
300	0	12,3		B	C		**258**	5	12,6	A	B	
200	10	12,2		B	C		**258**	10	12,5	A	B	
0	10	11,8		B	C		**163**	10	12,4	A	B	
200	0	11,5			C		**319**	0	12,2	A	B	C
0	5	11,3			C		**163**	0	12,2	A	B	C
200	5	11,1			C	D	**258**	0	12,1		B	C
0	0	10,0				D	**163**	5	11,3			C

LA EULALIA						26 DE ABRIL				
Dosis siembra	Medias					**Dosis siembra**	Medias			
300	12,9	A				**319**	12,63	A		
200	11,6		B			**258**	12,35	A		
0	11,0			C		**163**	11,94		B	

Dosis foliar	Medias					**Dosis foliar**	Medias			
10	12,5	A				**10**	12,6	A		
5	11,8		B			**5**	12,2		B	
0	11,3			C		**0**	12,1		B	

En el ensayo de La Eulalia se registró un efecto significativo tanto para la dosis a la siembra como para la dosis foliar con respecto al contenido de proteína ($p<0,05$), observándose un mayor nivel de proteína, a mayor disponibilidad de nitrógeno. Los valores medios obtenidos oscilaron entre 10% para el tratamiento testigo y 13,55% para el tratamiento de mayor fertilización.

Por su parte, si se analiza la fertilización a la siembra del ensayo de 26 de abril, se observaron diferencias significativamente superiores entre los tratamientos con mayor fertilización (319 y 258 kg de urea. ha^{-1}) y el testigo. La evaluación de la fertilización foliar indicó que solamente el tratamiento de fertilización con 10 lt. ha^{-1} obtuvo valores significativamente superiores al testigo ($p<0,05$).

Gluten (%)

Al igual que para el caso de la proteína, en el contenido de gluten se registró una interacción entre la fertilización a la siembra y la foliar ($p<0,05$) en ambos ensayos. Los resultados obtenidos fueron variables, registrándose en general aumentos en el contenido de gluten a mayor disponibilidad de nitrógeno (Tabla 12).

En el ensayo de La Eulalia el tratamiento de mayor fertilización fue el que tuvo el mayor contenido de gluten y el testigo, que no fue fertilizado, el menor. Sin embargo, casi todos los tratamientos donde hubo fertilización foliar no tuvieron diferencias significativas ($p>0,05$).

En el ensayo de 26 de abril, el único tratamiento en el que se registró una diferencia significativamente inferior fue el de 163 kg de urea ha^{-1} con 5 lt ha^{-1} de fertilizante foliar. Cabe destacar que, a diferencia del resto de los análisis realizados, en este caso, los tratamientos en los que no se fertilizó en antesis tuvieron resultados significativamente mejores en cuanto a contenido de gluten que aquellos en los que se fertilizó con 5 lt ha^{-1} de fertilizante foliar.

Tabla 12: Test de Tukey para el contenido de gluten (%) de La Eulalia y 26 de abril
Medias con letra en común no son significativamente diferentes (p>0,05)

LA EULALIA									26 DE ABRIL						
Dosis siembra	Dosis foliar	Medias							**Dosis siembra**	Dosis foliar	Medias				
300	10	33,2	A						**319**	10	34,0	A			
300	5	32,8	A	B					**258**	10	33,9	A			
200	10	32,3	A	B					**319**	5	33,7	A			
0	10	32,1	A	B	C				**258**	0	33,3	A	B		
0	5	31,9		B	C	D			**258**	5	33,0	A	B	C	
200	0	31,0			C	D	E		**163**	10	32,3		B	C	
300	0	30,7				D	E		**319**	0	32,0			C	
200	5	30,2					E		**163**	0	31,9			C	
0	0	26,6						F	**163**	5	28,2				D

LA EULALIA					26 DE ABRIL	
Dosis siembra	Medias				**Dosis siembra**	Medias
300	32,2	A			**258**	33,4
200	31,1		B		**319**	33,2
0	30,2			C	**163**	30,8
Dosis foliar	Medias				**Dosis foliar**	Medias
10	32,5	A			**10**	33,4
5	31,6		B		**0**	32,4
0	29,5			C	**5**	31,6

Relación gluten/proteína

La relación gluten/proteína es una propiedad que se debe a la composición química del grano de trigo y en especial a las proteínas y a su capacidad de formar gluten (León & Rosell, 2007). Se atribuye la capacidad de la harina de formar masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción

Ensayos realizados por Cuniberti, *et al* (2012), muestran que la relación gluten/proteína varía según la calidad de las variedades de trigo, dado por los grupos de calidad. En este caso, ambos ensayos se realizaron con trigos de grupo de calidad 2 y los coeficientes de regresión (R^2) obtenidos fueron de 0,77 y 0,62 para los ensayos de La Eulalia y 26 de abril respectivamente. Estos resultados se encuentran cercanos a los obtenidos por Cuniberti, *et al* (2012), los cuales fueron de 0,69 para trigos de grupo de calidad 2 (Gráfico 2).

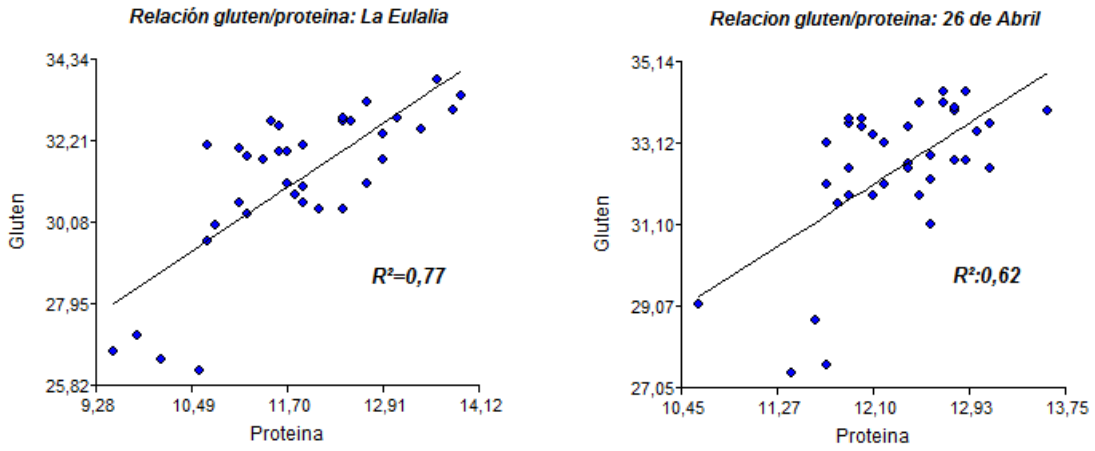

Gráfico 2: Relación gluten/proteína para los ensayos de La Eulalia y 26 de abril.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el trabajo respaldan la primera hipótesis, ya que las dosis crecientes de nitrógeno aplicado a la siembra impactaron positivamente en todos los componentes del rendimiento del cultivo de trigo.

En general, los componentes del rendimiento analizados presentaron diferencia estadísticamente significativa en por lo menos uno de los tratamientos de fertilización a la siembra y el testigo. La única excepción fue el número de granos espiga^{-1} de 26 de abril, donde en ninguno de los tratamientos se percibió dicha diferencia, aunque igualmente se observó el impacto positivo de las dosis crecientes de nitrógeno aplicado a inicios del cultivo.

La segunda hipótesis es rechazada, ya que único componente de calidad que presentó una respuesta creciente a dosis crecientes de nitrógeno aplicado a la siembra para ambos ensayos fue el contenido de proteína. El contenido de gluten en el caso de La Eulalia también presentó dicha respuesta.

En el resto de los componentes de calidad analizados (PH en ambos ensayos y contenido de gluten de 26 de abril), la respuesta no fue creciente, pero sin embargo en la mayoría de los casos esto no fue estadísticamente significativo ($p<0,05$). La única excepción fue el peso hectolítrico en el ensayo de La Eulalia, donde el tratamiento testigo (sin fertilizar) obtuvo valores significativamente superiores respecto a la dosis de 200 kg de urea. ha^{-1}.

La tercera hipótesis es aceptada ya que el uso de fertilizante foliar en antesis del cultivo de trigo no generó aumentos en el rendimiento, pero si en el contenido de proteína.

El único componente del rendimiento que manifestó un aumento significativo ante la fertilización foliar fue el peso de 1000, sin embargo, esto no se observó en todos los tratamientos. Por su parte, se registró un aumento en el contenido de proteína en todos los tratamientos fertilizados en antesis. El único caso en el que no se registró un aumento estadísticamente significativo respecto al testigo fue el de 5 lt ha^{-1} en el ensayo de 26 de abril.

Las condiciones climáticas adversas, dadas por la sequía y el granizo principalmente, tuvieron un rol fundamental en el comportamiento de las variables analizadas en este trabajo. Sería relevante repetir la experiencia en años climáticamente contrastantes para poder ampliar las conclusiones.

BIBLIOGRAFÍA

Abbate, P. & Cantarero, M., 2015. *Efectos del estrés hídrico en trigo,* Balcarce: Facultad de Ciencias Agropecuarias,UNC.

Abbate, P., Cardos, M. & Campaña, L. E., 2017. *El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo.* Acassuso(Buenos Aires): International Plant Nutrition Institute (IPNI).

Alzueta, I., Miralles, D., Rozo Ortega, G. & Rondanini, D., 2017. Determinación y manejo de la calidad en el cultivo de trigo. En: *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola.* Buenos Aires: AACREA, pp. 19-26.

Bergh, R., Loewy, T. & Echeverría, H., 2007. Red INTA-Fertilizar de fertilización nitrogenada para calidad en trigo pan. *Actas del Simposio de Fertilidad 2007,* pp. 57-62.

Bolsa de Cereales de Rosario, 2019. *Norma XX de calidad para la comercialización de trigo pan,* Rosario: Camara Arbitral de Cereales.

Bolsa de Cereales, 2020. *Informe de cierre de campaña 2019/2020,* CABA: Departamento de estimaciones agricolas.

Cárcova, J., Abeledo, L. & López Pereira, M., 2003. Análisis de la generación de rendimiento: Crecimiento, partición y componentes. En: E. Satorre, y otros edits. *Producción de granos.* Buenos Aires: Facultad de Agronomía, pp. 73-98.

Ciampitti, I. A. & García, F. O., 2008. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte A*, 18 Febrero, pp. 22-28.

Cox, M., Qualset, C. & Rains, D., 1985. Genetic variation for N assimilation and translocation in wheat. En: *Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein.* Buenos Aires: Crop Science, pp. 435-440.

Cuniberti, M. & Mir, L., 2012. *Relación gluten/proteína en trigo,* s.l.: INTA Marcos Juarez.

Di Rienzo, J. A. y otros, 2015. *Infostat versión 2015.* Córdoba: s.n.

Dobermann, A., 2007. *Nutrient use efficiency – measurement and management.* Brussels, IFA, pp. 1-28.

Equipo del Proyecto Fertilizar, 2016. *Fertilización y calidad en trigo,* Pergamino: INTA Pergamino.

FAO, 2009. *Cómo alimentar al mundo en 2050,* Roma: Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria (CMSA).

FAO, 2018. *El futuro de la alimentación y la agricultura. Vías alternativas hacia el 2050,* Roma: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.

Finck, A., 1988. *Fertilizantes y fertilización.* Barcelona: Reverte S.A.

Fischer, R., 1981. Optimizing the use of water and nitrogen through breeding of crops.. En: *Plant and Soil.* Crawley, Australia: Hans Lambers, pp. 249-278.

Fischer, R., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science Cambridge,* 105(2), pp. 447- 461.

García Serrano, P., 2017. *Fertiberia.* [En línea] Available at: https://www.fertiberia.com/es/blog/2017/octubre/el-principio-de-las-4r/ [Último acceso: 1 Abril 2020].

García, F., 2012. *The 4Rs in a Latin American Context.* Buenos Aires, IPNI Cono Sur.

Granieri, L. & Trabucco, P., 2009. *Análisis de la campaña de trigo y cebada 08/09.* Buenos Aires, Crea La Vía.

IFA Stat, 2016. *IFA.* [En línea] Available at: https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition [Último acceso: 15 Febrero 2020].

INTA, 2020. *Visor GeoINTA.* [En línea] Available at: http://visor.geointa.inta.gob.ar [Último acceso: 15 Marzo 2020].

Ioele, J. P., Aureli, Constanza, Lauría , M. & Olivanti, M., 2011. *Determinación de rendimiento de trigo y sus componentes,* Rafaela: Facultad de Ciencias Agrararia de la UNR.

Ladha, J., Tirol-Padre, A., Reddy, C. & Cassman, K., 2016. Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice, and wheat production systems. *Scientific Reports,* Volumen 6.

León, A. E. & Rosell, C., 2007. De tales harinas, tales panes. En: *Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica.* Córdoba: ISEKI-Food, p. 30.

Magrín, G., 1990. *Facteurs de stress agissant sur la production du blé en Argentine. Evaluation de mecanismos d´ adaptation a la secheresse.,* Montpellier: ENSA.

Miguez, F., 2018. *Fertilización en trigo (Apunte de cátedra).* Buenos Aires: Cátedra de Cereales (2018). Ingeniería Agronómica. Universidad Católica Argentina.

Mitscherlich, E., 1909. *Ley de rendimientos decrecientes.* Alemania.

Molfese, E., 2016. *Caracterización de la calidad del trigo pan en el centro sur bonaerense,* Buenos Aires: INTA.

Molfese, E., Seghezzo, M. & Astiz, V., 2015. *Relevamiento de la calidad del trigo pan en lotes de producción del centro sur de la Provincia de Buenos Aires,* Buenos Aires: INTA.

NASA Earth Observatory, 2016. *Ministerio de Energía.* [En línea] Available at: https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/informacion-geografica-

energia/mapas-insolacion-ceres
[Último acceso: 31 Marzo 2020].

Passarella, V. & Savin, R., 2003. Características físico-químicas de los granos y usos principales. En: E. Satorre, y otros edits. *Producción de granos.* Buenos Aires: Facultad de Agronomía, pp. 9-23.

Peña, R., Trethowan, R., Pfeiffer, W. & Van Ginkel, M., 2002. Quality (End-Use) Improvement in Wheat: Compositional, Genetic, and Environmental Factors. En: A. Basra & L. Ranhawa, edits. *Journal of Crop Improvement.* New York: Taylor & Francis, pp. 1-37.

Quintero, C. & Boschetti, G., 2016. *Eficiencia de uso del nitrógeno en trigo y maíz en la Región Pampeana Argentina,* Entre Ríos: Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER.

Ray, D., Mueller, N.D., West, P. & Foley, J., 2013. *Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050,* New York: Plose One 8.

Rockström, J. y otros, 2009. A safe operating space for humanity. En: Estocolmo: Nature, pp. 472-475.

Sarandón, S. y otros, 1986. *Fertilización foliar en trigo (T. aestivum L.) - Efecto de la dosis y el momento de aplicación sobre el rendimiento y sus componentes, el de proteínas y la calidad del grano.* Pergamino, Primer Congreso Nacional de Trigo.

Satorre, E., Menendez, F., Miralles, D. & Carmona, M., 2004. Cómo aumentar los rindes. *Revista Super Campo,* p. 6.

Savin, R. & Sorlino, D., 2003. Calidad de los granos y estimadores más comúnes. En: E. Satorre, y otros edits. *Producción de Granos.* Buenos Aires: Facultad de Agronomía, pp. 25-46.

Slafer, G. y otros, 2003. Ciclo ontogénico, desarrollo y generación del rendimiento y calidad en trigo. En: E. Satorre, y otros edits. *Producción de Granos.* Buenos Aires: Facultad de Agronomía, pp. 99-132.

Sprengel, C., 1828. *Ley del Mínimo.* Alemania.

Stone, P. & Savin, R., 1999. Grain quality and its physiological determinants. En: E. Satorre & G. Slafer, edits. *Wheat: Ecology and Physiology of yield determination.* New York: Food Product Press, pp. 85-120.

Subrahmanyam, D., Subash, N., Haris, A. & Sikka, A., 2006. Influence of water stress on leaf photosynthetic chararacteristics in wheat cultivars differing in their susceptibility to drought. En: *Photosynthetica.* s.l.:s.n., pp. 125-129.

Urriza, L. & Moreno, M., 2017. *Estimaciones Agrícolas 2017/2018,* Argentina: Ministerio de Agroindustria.

Villanueva, R., 2014. *El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación,* Perú: Universidad de Lima.

ANEXOS

Anexo I

Análisis de varianza y Test de Tukey

Rendimiento

La Eulalia

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Rendimiento	36	0,62	0,45	12,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15064334,39	11	1369484,94	3,59	0,0043
Dosis siembra	14286840,39	2	7143420,19	18,72	<0,0001
Dosis foliar	61157,06	2	30578,53	0,08	0,9232
Dosis siembra*Dosis foliar..	61866,94	4	15466,74	0,04	0,9967
Error	9157218,50	24	381550,77		
Total	24221552,89	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=629,75122

Error: 381550,7708 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.		
300	5806,42	12	178,31	A	
200	4949,67	12	178,31		B
0	4266,58	12	178,31		C

Dosis foliar	Medias	n	E.E.	
5	5039,08	12	178,31	A
10	5034,25	12	178,31	A
0	4949,33	12	178,31	A

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

26 de abril

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Rendimiento	36	0,27	0,00	12,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2082470,22	11	189315,47	0,80	0,6419
Dosis siembra	1923619,39	2	961809,69	4,05	0,0305
Dosis foliar	6757,39	2	3378,69	0,01	0,9859
Dosis siembra*Dosis foliar..	57184,78	4	14296,19	0,06	0,9928
Error	5701623,33	24	237567,64		
Total	7784093,56	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=496,92002

Error: 237567,6389 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.		
319	4326,50	12	140,70	A	
258	4079,42	12	140,70	A	B
163	3761,75	12	140,70		B

Dosis foliar	Medias	n	E.E.	
0	4074,50	12	140,70	A
5	4051,25	12	140,70	A
10	4041,92	12	140,70	A

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

Espigas m²

La Eulalia

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Espigas/m2	36	0,50	0,27	8,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26719,89	11	2429,08	2,19	0,0525
Dosis siembra	24208,17	2	12104,08	10,92	0,0004
Dosis foliar	224,00	2	112,00	0,10	0,9043
Dosis siembra*Dosis foliar..	129,83	4	32,46	0,03	0,9982
Error	26611,11	24	1108,80		
Total	53331,00	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=33,94836

Error: 1108,7963 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.		
300	422,83	12	9,61	A	
200	394,25	12	9,61	A	
0	359,42	12	9,61		B

Dosis foliar	Medias	n	E.E.	
0	395,50	12	9,61	A
10	391,50	12	9,61	A
5	389,50	12	9,61	A

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

26 de Abril

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Espigas/m2	36	0,30	0,00	4,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5411,19	11	491,93	0,95	0,5168
Dosis siembra	5047,72	2	2523,86	4,85	0,0170
Dosis foliar	11,72	2	5,86	0,01	0,9888
Dosis siembra*Dosis foliar..	74,78	4	18,69	0,04	0,9974
Error	12483,78	24	520,16		
Total	17894,97	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=23,25200

Error: 520,1574 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.		
319	474,58	12	6,58	A	
258	458,17	12	6,58	A	B
163	445,67	12	6,58		B

Dosis foliar	Medias	n	E.E.	
0	459,92	12	6,58	A
5	459,83	12	6,58	A
10	458,67	12	6,58	A

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

Granos espiga^{-1}

La Eulalia

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Granos/espiga	36	0,35	0,05	8,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	200,44	11	18,22	1,17	0,3582
Dosis siembra	113,17	2	56,58	3,63	0,0421
Dosis foliar	2,67	2	1,33	0,09	0,9184
Dosis siembra*Dosis foliar..	5,17	4	1,29	0,08	0,9869
Error	374,56	24	15,61		
Total	575,00	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,02759

Error: 15,6065 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.		
300	46,42	12	1,14	A	
200	44,00	12	1,14	A	B
0	42,08	12	1,14		B

Dosis foliar	Medias	n	E.E.	
5	44,50	12	1,14	A
10	44,17	12	1,14	A
0	43,83	12	1,14	A

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

26 de Abril

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Granos/espiga	36	0,12	0,00	10,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	41,89	11	3,81	0,29	0,9827
Dosis siembra	20,72	2	10,36	0,78	0,4706
Dosis foliar	3,39	2	1,69	0,13	0,8811
Dosis siembra*Dosis foliar..	10,44	4	2,61	0,20	0,9380
Error	319,67	24	13,32		
Total	361,56	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,72080

Error: 13,3194 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.	
319	36,58	12	1,05	A
258	36,25	12	1,05	A
163	34,83	12	1,05	A

Dosis foliar	Medias	n	E.E.	
0	36,25	12	1,05	A
5	35,92	12	1,05	A
10	35,50	12	1,05	A

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

Peso de 1000 granos (P 1000)

La Eulalia

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Peso de 1000	36	0,80	0,71	1,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22,82	11	2,07	8,67	<0,0001
Dosis siembra	18,90	2	9,45	39,51	<0,0001
Dosis foliar	3,04	2	1,52	6,36	0,0061
Dosis siembra*Dosis foliar..	0,06	4	0,02	0,07	0,9916
Error	5,74	24	0,24		
Total	28,56	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,49864

Error: 0,2392 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.			
300	36,98	12	0,14	A		
200	35,82	12	0,14		B	
0	35,24	12	0,14			C

Dosis foliar	Medias	n	E.E.		
5	36,28	12	0,14	A	
10	36,16	12	0,14	A	
0	35,61	12	0,14		B

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

26 de Abril

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Peso de 1000	36	0,65	0,49	1,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14,03	11	1,28	4,02	0,0021
Dosis siembra	8,22	2	4,11	12,96	0,0002
Dosis foliar	2,06	2	1,03	3,24	0,0568
Dosis siembra*Dosis foliar..	2,11	4	0,53	1,66	0,1911
Error	7,61	24	0,32		
Total	21,64	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,57413

Error: 0,3171 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.		
319	36,92	12	0,16	A	
258	36,25	12	0,16		B
163	35,75	12	0,16		B

Dosis foliar	Medias	n	E.E.		
10	36,58	12	0,16	A	
5	36,33	12	0,16	A	B
0	36,00	12	0,16		B

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

Peso hectolitrico (PH)

La Eulalia

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Peso hectolitrico	36	0,93	0,90	0,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62,36	11	5,67	29,51	<0,0001
Dosis siembra	3,36	2	1,68	8,74	0,0014
Dosis foliar	51,32	2	25,66	133,59	<0,0001
Dosis siembra*Dosis foliar..	7,10	4	1,78	9,24	0,0001
Error	4,61	24	0,19		
Total	66,97	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,44683

Error: 0,1921 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.			
0	78,86	12	0,13	A		
300	78,43	12	0,13	A	B	
200	78,12	12	0,13		B	

Dosis foliar	Medias	n	E.E.			
10	79,92	12	0,13	A		
5	78,50	12	0,13		B	
0	76,99	12	0,13			C

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,05337

Error: 0,1921 gl: 24

Dosis siembra	Dosis foliar	Medias	n	E.E.				
300	10	80,30	4	0,22	A			
200	10	79,95	4	0,22	A	B		
0	10	79,50	4	0,22	A	B		
0	5	79,00	4	0,22		B	C	
300	5	78,35	4	0,22			C	
200	5	78,15	4	0,22			C	
0	0	78,10	4	0,22			C	
300	0	76,60	4	0,22				D
200	0	76,25	4	0,22				D

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

26 de Abril

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Peso hectolitrico	36	0,91	0,87	0,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	50,73	11	4,61	21,59	<0,0001
Dosis siembra	0,26	2	0,13	0,60	0,5547
Dosis foliar	49,76	2	24,88	116,50	<0,0001
Dosis siembra*Dosis foliar..	0,11	4	0,03	0,13	0,9706
Error	5,13	24	0,21		
Total	55,85	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,47117

Error: 0,2136 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.

163	79,95	12	0,13	A	
319	79,90	12	0,13	A	
258	79,75	12	0,13	A	

Dosis foliar	Medias	n	E.E.			
10	81,02	12	0,13	A		
5	80,33	12	0,13		B	
0	78,25	12	0,13			C

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

Proteína (%)

La Eulalia

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Proteína	36	0,86	0,79	4,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	34,86	11	3,17	13,15	<0,0001
Dosis siembra	22,74	2	11,37	47,16	<0,0001
Dosis foliar	9,09	2	4,55	18,86	<0,0001
Dosis siembra*Dosis foliar..	3,00	4	0,75	3,11	0,0340
Error	5,79	24	0,24		
Total	40,65	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,50054

Error: 0,2410 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.			
300	12,92	12	0,14	A		
200	11,60	12	0,14		B	
0	11,02	12	0,14			C

Dosis foliar	Medias	n	E.E.			
10	12,49	12	0,14	A		
5	11,78	12	0,14		B	
0	11,27	12	0,14			C

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,18000

Error: 0,2410 gl: 24

Dosis siembra	Dosis foliar	Medias	n	E.E.				
300	10	13,55	4	0,25	A			
300	5	12,93	4	0,25	A	B		
300	0	12,28	4	0,25		B	C	
200	10	12,15	4	0,25		B	C	
0	10	11,78	4	0,25		B	C	
200	0	11,53	4	0,25			C	
0	5	11,28	4	0,25			C	
200	5	11,13	4	0,25			C	D
0	0	10,00	4	0,25				D

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

26 de Abril

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Proteína	36	0,69	0,55	3,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,36	11	0,76	4,92	0,0005

Dosis siembra	2,90	2	1,45	9,40	0,0010
Dosis foliar	1,81	2	0,90	5,85	0,0085
Dosis siembra*Dosis foliar..	2,57	4	0,64	4,16	0,0107
Error	3,71	24	0,15		
Total	12,07	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,40057

Error: 0,1544 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.		
319	12,63	12	0,11	A	
258	12,35	12	0,11	A	
163	11,94	12	0,11		B

Dosis foliar	Medias	n	E.E.		
10	12,63	12	0,11	A	
5	12,16	12	0,11		B
0	12,14	12	0,11		B

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,94433

Error: 0,1544 gl: 24

Dosis siembra	Dosis foliar	Medias	n	E.E.			
319	10	13,08	4	0,20	A		
319	5	12,60	4	0,20	A	B	
258	5	12,55	4	0,20	A	B	
258	10	12,45	4	0,20	A	B	
163	10	12,35	4	0,20	A	B	
319	0	12,23	4	0,20	A	B	C
163	0	12,15	4	0,20	A	B	C
258	0	12,05	4	0,20		B	C
163	5	11,33	4	0,20			C

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

Gluten (%)

La Eulalia

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Gluten	36	0,95	0,93	1,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	125,23	11	11,38	45,47	<0,0001
Dosis siembra	24,25	2	12,13	48,43	<0,0001
Dosis foliar	59,46	2	29,73	118,74	<0,0001
Dosis siembra*Dosis foliar..	40,52	4	10,13	40,46	<0,0001
Error	6,01	24	0,25		
Total	131,24	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,51013

Error: 0,2504 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.			
300	32,23	12	0,14	A		
200	31,14	12	0,14		B	
0	30,22	12	0,14			C

Dosis foliar	Medias	n	E.E.			
10	32,51	12	0,14	A		
5	31,63	12	0,14		B	
0	29,45	12	0,14			C

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,20261

Error: 0,2504 gl: 24

Dosis siembra	Dosis foliar	Medias	n	E.E.					
300	10	33,15	4	0,25	A				
300	5	32,80	4	0,25	A	B			
200	10	32,25	4	0,25	A	B			
0	10	32,13	4	0,25	A	B	C		
0	5	31,90	4	0,25		B	C	D	
200	0	31,00	4	0,25			C	D	E
300	0	30,73	4	0,25				D	E
200	5	30,18	4	0,25					E
0	0	26,63	4	0,25					F

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

26 de Abril

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Gluten	36	0,95	0,92	1,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	103,15	11	9,38	39,85	<0,0001
Dosis siembra	50,78	2	25,39	107,89	<0,0001
Dosis foliar	18,48	2	9,24	39,28	<0,0001
Dosis siembra*Dosis foliar..	32,78	4	8,20	34,83	<0,0001
Error	5,65	24	0,24		
Total	108,80	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,49454

Error: 0,2353 gl: 24

Dosis siembra	Medias	n	E.E.		
258	33,38	12	0,14	A	
319	33,24	12	0,14	A	
163	30,79	12	0,14		B

Dosis foliar	Medias	n	E.E.			
10	33,38	12	0,14	A		
0	32,39	12	0,14		B	
5	31,63	12	0,14			C

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,16586

Error: 0,2353 gl: 24

Dosis siembra	Dosis foliar	Medias	n	E.E.				
319	10	34,00	4	0,24	A			
258	10	33,88	4	0,24	A			
319	5	33,70	4	0,24	A			
258	0	33,25	4	0,24	A	B		
258	5	33,00	4	0,24	A	B	C	
163	10	32,28	4	0,24		B	C	
319	0	32,03	4	0,24			C	
163	0	31,90	4	0,24			C	
163	5	28,20	4	0,24				D

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

Anexo II

Cociente fototermal (Q)

Las condiciones ambientales que se producen durante el período crítico del cultivo (etapa reproductiva) inciden fuertemente en el número final de granos establecidos. La radiación afecta al número de granos a través de su relación lineal positiva con la tasa de crecimiento del cultivo, y la temperatura lo afecta negativamente, acelerando el desarrollo. Por eso, es posible pensar que el número de granos (y en muchos casos el rendimiento) depende de estos factores durante el período crítico definido alrededor de antesis (Satorre, et al., 2004).

A partir de esto Fischer (1985) definió el concepto de cociente fototermal (Q) representado en la ecuación Q = R / T, donde:

- Q = índice de crecimiento por unidad de tiempo térmico de desarrollo [MJ/ (m^2. día. °C)].
- R = radiación solar media diaria (MJ/m^2. día) para el intervalo de 20 días previos a antesis y 10 días posteriores a antesis
- T = temperatura media del período menos 4.5°C (temperatura base aceptada para esta etapa avanzada del desarrollo

Para este trabajo se realizó una estimación del cociente fototermal (Q), donde se relacionó la radiación media (MJ/m^2. día), según datos del sensor CERES (NASA Earth Observatory, 2016) con la temperatura media (°C) a partir de los registros de Estación Meteorológica de Junín, la cual es la más cercana a la ubicación de los ensayos.

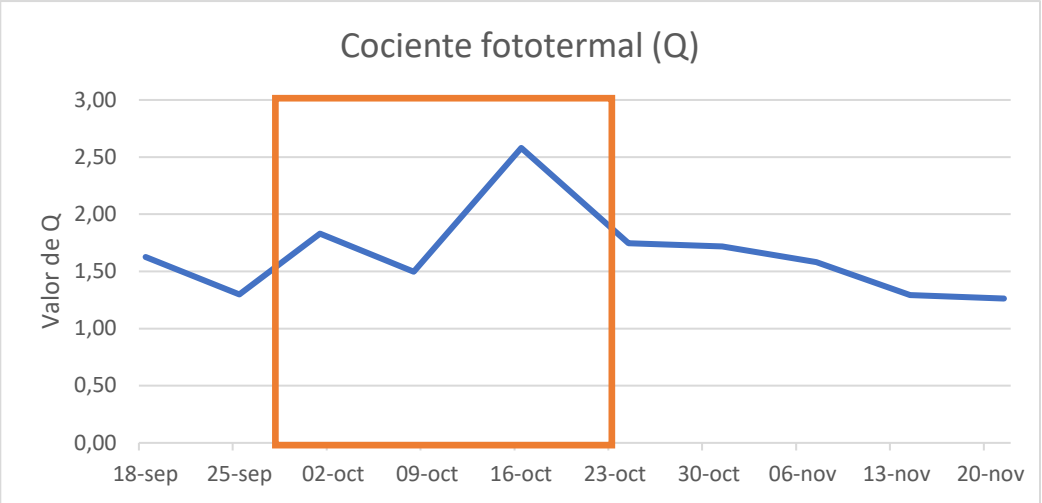

Gráfico 3: Cociente fototermal (Q) durante parte del ciclo del cultivo de trigo
La etapa abarcada en el rectángulo representa el período crítico para la definición del rendimiento

Los resultados obtenidos mostraron que en el período crítico del cultivo se dieron los valores más altos de Q, lo cual incide negativamente en el rendimiento al afectar al número final de flores fértiles (las cuales luego del cuaje quedan establecidas como grano) en el momento de floración del cultivo.

Anexo III

Imágenes adicionales

Leyes de la fertilización

El *barril de Liebig* es utilizado comúnmente para explicar la Ley del Mínimo. Así como la capacidad de un barril con listones de distinta longitud está limitada por la más corta, el crecimiento de una planta se ve limitado por el nutriente más escaso. En la Imagen 1 el nitrógeno es el que limita el rendimiento.

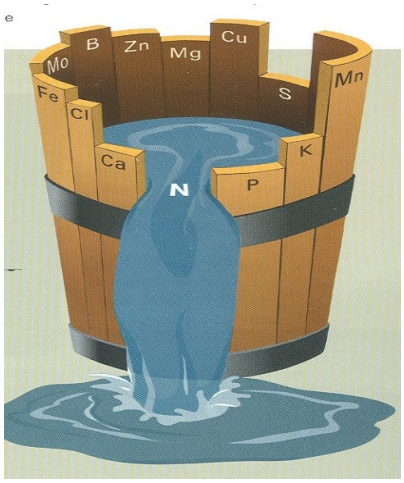

Imagen 1: Ley del Mínimo
Fuente: Miguez, F., 2018

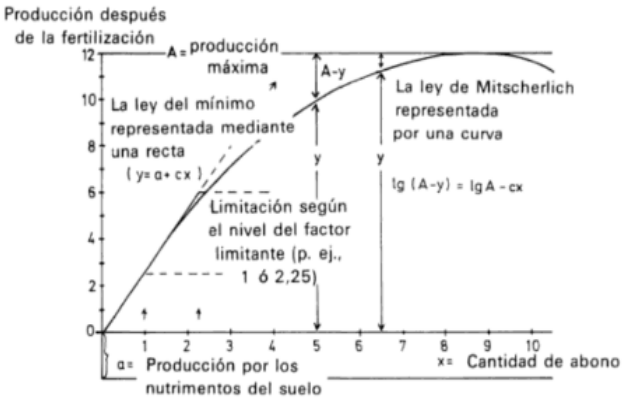

Imagen 2: Relación entre la ley del mínimo y la ley de rendimientos decrecientes. Fuente: Finck, A., 1988

En la Imagen 2 se observa un gráfico que relaciona a la Ley del mínimo (mediante una recta que limita la producción máxima), con la ley de rendimientos decrecientes (mediante una curva en donde el rendimiento comienza a decrecer cuando se alcanza un punto determinado de cantidad de abono).

Construyendo el rendimiento

Existen condiciones que limitan el rendimiento final de un cultivo. Algunas de estas son la temperatura, la radiación, el genotipo, el agua, los nutrientes, las enfermedades, etc. Para contrarrestar el efecto negativo que puedan causar, el productor cuenta con herramientas de manejo como la fecha de siembra, la variedad, la fertilización, el ambiente de producción, la protección de cultivos, etc. Esto hace que el rendimiento potencial sea más o menos cercano al rendimiento final obtenido para un cultivo.

Imagen 3: Variables que influyen en el rendimiento final del cultivo

Efectos del nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad

En la Imagen 4 se puede observar que, en la primera fase del cultivo ante una reducida oferta de N (disponible en el suelo), incrementos en la disponibilidad de N producen aumentos en el rendimiento y caídas en el porcentaje de proteínas, conocido como efecto dilución. Luego, en la segunda fase, aumentos en los niveles de N en el suelo, generan incrementos tanto en el rendimiento como en el porcentaje de proteína en grano. Por último, en la tercera fase, se ve una estabilización, en la que las variaciones en el rendimiento y contenido de proteínas del grano varían escasamente ante cambios en la oferta edáfica de N (Equipo del Proyecto Fertilizar, 2016).

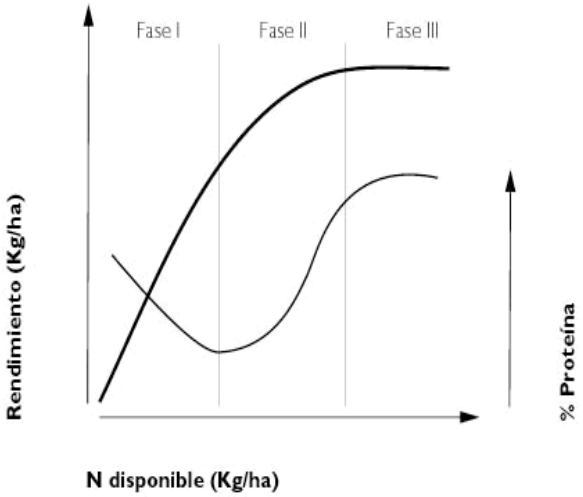

Imagen 4: Relaciones entre rendimiento y porcentaje de proteínas según disponibilidad de nitrógeno en el suelo
Fuente: Stone, P.J. y Savin, R., 1999

Subregiones ecológicas

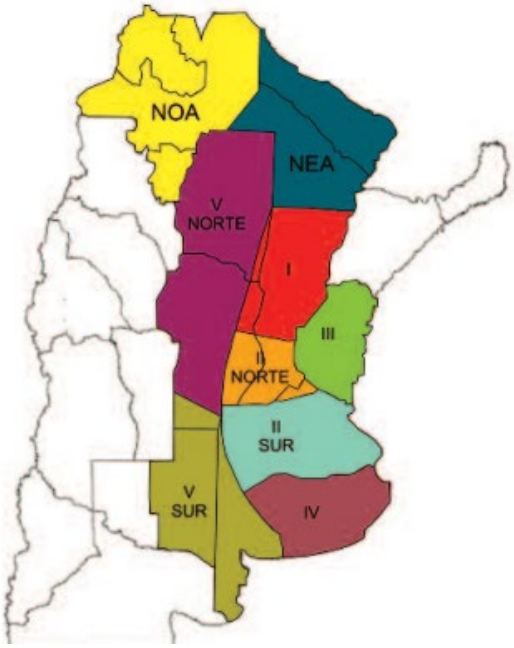

Imagen 5: Mapa de subregiones ecológicas
Molfese, E., 2016

La división triguera argentina se basa principalmente en características del medio como el suelo y el clima. Por lo tanto, cada subregión comprende áreas con características semejantes. A pesar de eso, es importante destacar que la distribución del cultivo no es uniforme en toda la subregión. El partido de Lincoln, donde se realizó este trabajo, corresponde a la subregión II sur.

Según el Informe de Cierre de Campaña 2019/2020 de la BCR, la región Norte de La Pampa y el Noroeste de la provincia de Buenos Aires tuvo una superficie sembrada de 535.000 has (8% del total) con rindes promedio de 30,2 qq/ha, lo cual se encuentra por encima del promedio nacional (29,2 qq/ha) pero, sin embargo, fue inferior a la de la campaña anterior.

Anexo IV

Buenas Prácticas en Fertilización: Las "4R"

Es una herramienta esencial en el desarrollo de los sistemas agrícolas sostenibles (García, 2012). Lo que se busca es maximizar la absorción de nutrientes por parte del cultivo, minimizando así las pérdidas al medio ambiente y reduciendo el impacto negativo que pueden tener éstas sobre el agua, el suelo y el aire (García Serrano, 2017). Las mismas hacen referencia a:

1. Aplicar la dosis justa: *Right rate*
2. En el momento de aplicación correcto: *Right time*
3. Con la ubicación correcta: *Right place*
4. Utilizando la fuente de fertilizante correcta: *Right source*

	Rate	**Time**	**Place**	**Source**
1	Evaluar suministro de N del suelo	Evaluar el momento de la absorción del cultivo	Reconocer la dinámica de las raíces/suelo	Suministrar N en forma disponible para la planta
2	Evaluar otras fuentes de N	Evaluar la dinámica del N	Manejar la variabilidad espacial	Adaptarse a las propiedades del suelo
3	Evaluar demanda de la planta	Reconocer los factores del clima	Evaluar necesidades de labranza	Reconocer sinergias entre elementos
4	Predecir la eficiencia de uso de fertilizantes	Evaluar la logística de las operaciones	Limitar el transporte de N fuera del lote	Evaluar compatibilidad en la mezcla

Tabla 13: Principios específicos de las 4R

En la Tabla 13 se muestra un análisis realizado por García, (2012) en el que se detallan ciertos principios los cuales sirven para una correcta administración de los recursos con el objetivo de lograr sustentabilidad ambiental, social y económica. Estos principios son globales y pueden adaptarse y aplicarse a niveles de campo especificos.