

ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO Y PROTEINA DE TRIGO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

NITROGEN FERTILIZATION STRATEGIES TO INCREASE YIELD AND PROTEIN OF WHEAT IN THE PAMPEAN SEMIARID REGION

Dillchneider Alexandra^{*1}, Ileana Frasier², Daniel Funaro²
Romina Fernández² y Alberto Quiroga^{2,3}

Recibido 15/06/2018
Aceptado 26/04/2019

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la fertilización nitrogenada en la expresión del rendimiento y el contenido de proteína en grano de trigo en distintos ambientes de la región semiárida pampeana. Los ensayos se realizaron en las localidades de Embajador Martini, Macachín y Anguil. Los tratamientos fueron: Testigo; fertilización a la siembra con 40 kg N.ha⁻¹ y 80 kg N.ha⁻¹, fertilización postergada con 40 kg N.ha⁻¹, fertilización dividida a la siembra con 40 kg N.ha⁻¹ y postergada con 40 kg N.ha⁻¹. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con cuatro réplicas. En cada localidad se realizaron cinco ensayos y se determinó el rendimiento, el contenido de proteína en grano, la eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia de uso de nitrógeno (EUN). Los sitios con un IMO > 4,5% tuvieron mayores respuestas al rendimiento respecto del testigo que los suelos con un IMO < 4,5%. Los suelos con > 50% de A+L presentaron mayor fertilidad potencial del suelo, y tuvieron diferencias significativas respecto del testigo ante el agregado de 80 kg.ha⁻¹ de nitrógeno a la siembra o dividida. En cambio, suelos con < 50% de A+L no presentaron diferencias significativas en el rendimiento entre tratamientos. Los menores rendimientos de estos suelos se tradujeron en un mayor contenido de proteína en grano, alcanzando el 11%. A medida que aumenta la cantidad de nitrógeno en el suelo aumenta el contenido de nitrógeno en grano, pero disminuye la eficiencia de uso de dicho nutriente. Si bien las precipitaciones son la principal limitante de la zona, con adecuada recarga hídrica del perfil, la productividad del cultivo se ve limitada por los bajos contenidos de nitrógeno.

PALABRAS CLAVE: textura de suelo, eficiencia de uso del nitrógeno, fertilización dividida

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of nitrogen fertilization on the expression of yield and grain protein content in wheat in different environments of the semiarid Pampa region. The field experiments were carried out in Embajador Martini, Macachín and Anguil. The treatments were: control (0N), fertilization at seeding with 40 kg N.ha⁻¹ (40+0) and 80 kg N.ha⁻¹ (80+0), delayed fertilization with 40 kg N.ha⁻¹ (between Z3.9 and Z5.0) (0+40) and divided fertilization (40+40). The treatments were arranged in a completely randomized block design with four replicates. Five field experiments were carried out in each site and yield, grain protein content, water use efficiency and nitrogen use efficiency were determined. The sites with IMO > 4,5% had more response to yields in comparison with control, than the sites with IMO < 4,5%. The soils with > 50% A+L had greater soil potential fertility, and there were significant differences between the control and 80 kg.ha⁻¹ at seeding or divided fertilization. Instead, the soils with < 50% A+L did not show significant differences in the yields between treatments. The lowest yields in these soils were translated in higher protein grain content, reaching 11%. More soil nitrogen content increases the grain nitrogen content but decreases nutrient use efficiency. Although, rainfalls are the main restriction of this region, with a good water availability, the wheat productivity is limited by low nitrogen content.

KEY WORDS: soil texture, nitrogen use efficiency, divided fertilization

Cómo citar este trabajo:

Dillchneider, A., Frasier, I., Funaro, D., Fernández, R., y Quiroga, A. (2019). Estrategias de fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento y proteína de trigo en la región semiárida pampeana. *Semiárida*, 29(1), 53-62.

INTRODUCCIÓN

El trigo y su panificación forman parte de la segunda cadena agroindustrial más importante de Argentina (Cuniberti, 2001). La demanda

1 CONICET

2 INTA EEA Anguil, Anguil, La Pampa, Argentina

3 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, La Pampa, Argentina

* dillchneider.a@inta.gov.ar



impone exigencias cada vez más estrictas en la calidad de este cereal y en la continuidad de la misma para insertarse en un mercado mundial cada vez más competitivo (Secretaría de agricultura y ganadería, 2004). Si bien se disponen de trigos con alta calidad panadera, no pueden expresar su potencial por falta de nitrógeno para formar proteína y gluten en la masa y obtener altos volúmenes de pan, por ende, el problema actual no es genético sino de manejo de los sistemas de producción.

La región semiárida pampeana tiene al trigo como principal cereal de invierno (Belmonte *et al.*, 2010), participando en un 5,7% de la producción nacional de trigo, donde se destina actualmente una superficie de 381.900 hectáreas con un rinde promedio de 2830 kg.ha⁻¹ (MAGyP, 2017) y con 9,5% de proteína en grano (Fritz & Renzi, 2017). Esta región se caracteriza por presentar una gran variabilidad en las precipitaciones (Scian, 2000) que frecuentemente no logran cubrir los requerimientos de uso consuntivo de los cultivos debido al balance hídrico anual negativo, donde la evapotranspiración potencial es mayor que la cantidad anual de lluvias (Bono *et al.*, 2010). Sin embargo, a partir del 2014 se presentó un escenario económico y ecológico positivo para incluir al cultivo de trigo en la rotación, acompañado de un aumento de las precipitaciones llegando a acumular en 2016 un total de 1027 mm (Belmonte *et al.*, 2017). Las abundantes y frecuentes lluvias produjeron el lavado del nitrógeno en el suelo, haciendo que la disponibilidad para el cultivo disminuyera. Un ejemplo de ello se vio reflejado en la campaña 2015/16 donde se estimó un promedio de 9% de proteína haciendo que el trigo argentino se ubique en el mercado internacional dentro del tipo forrajero para consumo animal (Cuniberti, 2016). Por otra parte, la región presenta distintos tipos de suelos diferenciados por la granulometría, la profundidad efectiva del perfil que definen la capacidad de retención de agua (Quiroga *et al.*, 1998), y los contenidos de materia orgánica (MO). Suelos de textura más gruesa (arenoso franco) almacenan menos cantidad de agua que los suelos de textura más fina (franco) a una misma profundidad. Por el

contrario, suelos limitados por la presencia de un manto calcáreo como ocurre en la planicie con tosca almacenan menos agua que aquellos sin limitaciones (Fernández, 2007). La textura del suelo, expresada como arcilla+limo, está fuertemente relacionada con los contenidos de MO del suelo. La MO promueve la liberación de nutrientes y, por lo tanto, la productividad de los cultivos. El índice MO/arcilla+limo refleja cómo responde el crecimiento de las plantas a las propiedades físicas del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Se ha demostrado que la variación del rendimiento de cebada y girasol en la región semiárida pampeana están en relación con el índice de MO/L+A (Funaro, 2007; Quiroga *et al.*, 2006). Esas diferencias en los tipos de suelo en interacción con el genotipo y el manejo del cultivo durante su ciclo, definen el rendimiento en grano del cultivo (Miralles *et al.*, 2007). En ese sentido, es importante identificar los períodos críticos de definición de rendimiento y conocer la respuesta del cultivo frente a los distintos ambientes (Miralles *et al.*, 2003). El rendimiento de trigo comienza a definirse en etapas tempranas de su desarrollo en el período alrededor de floración (20 días antes y 10 días después) donde se requieren condiciones óptimas de temperatura, radiación, disponibilidad hídrica y nutrición (Fischer, 1985; Satorre *et al.*, 2012).

El nitrógeno (N) es el elemento de mayor importancia que condiciona la producción de trigo (Quiroga *et al.*, 2008). Sus requerimientos nutricionales se encuentran dentro de los más altos de los cereales, con una necesidad de 30 kg N para producir una tonelada de grano (Satorre *et al.*, 2012). Deficiencias de N afectan la expansión foliar, acelera la senescencia y afecta la tasa fotosintética reduciendo la producción de materia seca y de grano (Ferraris, 2009), por otro lado, la disponibilidad de N afecta su concentración en grano y por ende el contenido de proteína (Cuniberti & Mir, 2016). El porcentaje de proteína en el grano es importante para la determinación de la calidad panadera, su expresión depende de factores climáticos, de la variedad y del manejo (Brach, 2012; Cuniberti & Mir, 2016). Para

diagnosticar la necesidad de agregado de nitrógeno, hay que considerar el nitrógeno mineral del suelo al momento de la siembra y el que se mineralizará durante la estación de crecimiento (Satorre *et al.*, 2012; Studdert *et al.*, 2000). La fertilización nitrogenada adquiere un rol importante para incrementar y/o estabilizar el rendimiento y optimizar la calidad del grano. Ajustar la dosis y el momento de aplicación para cubrir los requerimientos de rendimiento y el contenido proteico constituyen factores que pueden resultar antagónicos (Ferraris & Arias Usandivaras, 2017). La aplicación de N debe hacerse en el momento oportuno para asegurar la absorción por parte del cultivo, con aplicaciones tempranas se tiende a incrementar el rendimiento, y con aplicaciones tardías a aumentar el contenido de N en grano (Diaz-Zorita, 2000; Ferraris, 2009). La respuesta a la fertilización en cuanto a dosis y momento depende tanto de la disponibilidad hídrica como de la fertilidad del suelo. Altas dosis de fertilizantes a la siembra no es una estrategia eficiente para mejorar el contenido de proteína y la calidad panadera del grano. Las aplicaciones postergadas son efectivas cuando la aplicación de base son adecuadas y hay buena disponibilidad hídrica en macollaje (Frolla *et al.*, 2017).

El objetivo del estudio fue evaluar la influencia de la fertilización nitrogenada en la expresión del rendimiento y el contenido de proteína en el grano en distintos ambientes de la región semiárida pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los ensayos se localizaron en la Unidad Cartográfica de las Planicies con Tosca y Planicie Medanosa de la Provincia de La Pampa. Se seleccionaron 15 lotes de productores destinados a trigo en la campaña 2016/17 ubicados en una transecta N- SE que involucró las localidades de Embajador Martini, Anguil y Macachín. En cada uno de los sitios se establecieron los siguientes tratamientos: Testigo (0 N); fertilización a la siembra 40 kg N.ha⁻¹

(40+0), fertilización postergada con 40 kg N.ha⁻¹ (0+40), fertilización a la siembra con 40 kg N.ha⁻¹ y postergada 40 kg N.ha⁻¹(40+40), fertilización a la siembra 80 kg N.ha⁻¹ (80+0). Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño en bloques completamente aleatorizados con cuatro réplicas. La variedad utilizada fue ACA 315 correspondiente al Grupo 1 de calidad, sembrado en el mes de junio de 2016 y se cosechó en diciembre del mismo año. Las fertilizaciones se realizaron a la siembra y postergada entre Z3.9 (hoja bandera) y Z5.0 (espigazón), utilizando como fuente nitrogenada urea (46%). El tamaño de la unidad experimental fue de 50 m².

Determinaciones

En cada sitio se tomaron cuatro submuestras compuestas de suelo a 20 cm de profundidad para realizar una caracterización general de las propiedades edáficas, las cuales fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas por 2 mm. Los parámetros evaluados fueron: textura (Bouyoucos, 1962), espesor de suelo (cm), capacidad de campo (CC) a 33 kPa y punto de marchitez permanente (PMP) a 1500 kPa utilizando equipo de olla a presión y placas cerámicas (Klute, 1986). También se determinó el contenido de carbono total por combustión seca (LECO TruspecTM) que fue considerado como carbono orgánico (CO) ya que los suelos no presentaron carbonato de calcio libre. El CO se convirtió en materia orgánica (MO) utilizando el factor de conversión de 1,724 (Nelson & Sommers, 1982). A partir de la diferencia entre el contenido de agua a CC y el contenido de agua en PMP se calculó la capacidad de retener agua útil (CRAu) hasta 1,40 m en aquellos suelos con mayor profundidad o hasta la tosca. Con el contenido de MO y la textura se determinó el índice MO/A+L (IMO)(Quiroga *et al.*, 2006).

Para evaluar la dinámica hídrica se analizó la cantidad y distribución de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de trigo (Junio - Diciembre) a partir de los datos obtenidos de la estación meteorológica de EEA INTA Anguil, la Cooperativa de Embajador Martini y la Cooperativa de Macachín. En cada

sitio experimental y al momento de la siembra, floración y madurez fisiológica se determinó el contenido de agua total en el suelo cada 20 cm de profundidad (método gravimétrico) hasta la presencia del manto calcáreo o hasta los 200 cm de profundidad si el suelo no presentó dicha limitante. Con esa información se calculó el agua útil del perfil descontando el PMP y el agua gravitacional. La oferta hídrica se determinó a partir de la sumatoria del agua útil a la siembra más las precipitaciones durante el ciclo del cultivo. El uso consuntivo determinado a partir de la diferencia entre el agua total durante el ciclo del cultivo (agua a la siembra más precipitaciones) y el agua en el suelo a cosecha (López & Arrúe, 1997) y luego se calculó la eficiencia del uso del agua (EUA) como el cociente entre los kilogramos de grano obtenido y el uso consuntivo (Quiroga *et al.*, 2006) y la eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) como el cociente entre los kilogramos de nitrógeno en el grano y los kilogramos de nitrógeno disponibles en el suelo más el fertilizante.

Por último, se determinó el contenido de N-nitratos (método del ácido cromotrópico) al momento de la siembra del cultivo de trigo y se evaluó el rendimiento en grano, sus componentes (número y peso de mil granos) y el contenido de proteína en grano (NIRS) al final del ciclo del cultivo de trigo. El rendimiento relativo se determinó como el cociente entre el rendimiento de los tratamientos de fertilización y el rendimiento del testigo por 100.

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de la varianza (ANOVA) y la comparación de medias mediante el test LSD Fisher ($p < 0,05$). Se realizaron regresiones lineales simples para estudiar las relaciones entre las variables estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sitios bajo estudio se caracterizaron por presentar gran variabilidad en la condición edáfica, con diferencias en la profundidad del suelo, composición granulométrica, contenido de materia orgánica (MO), y capacidad de

Tabla 1. Caracterización edáfica de los distintos sitios estudiados en la región semiárida pampeana

Table 1. Edaphic characterization of the different studied sites in the pampean semi-arid region

Sitio	Localidad	Prof. (m)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura	MO (%)	IMO	CC (%)	PMP (%)	CRAu (mm)
M1	Macachin	200	6	8	86	arenoso franco	0,88	6,32	10,0	4,3	95
M2	Macachin	100	9	32	59	franco arenoso	1,36	3,31	16,4	10,0	76
M3	Macachin	160	14	42	44	franco	1,87	3,34	21,2	13,2	135
M4	Macachin	160	16	43	41	franco	1,59	2,70	22,2	13,8	140
M5	Macachin	200	15	33	52	franco arenoso	1,63	3,40	18,7	11,5	120
A1	Anguil	100	11	28	61	franco arenoso	1,40	3,59	15,8	9,6	74
A2	Anguil	100	17	37	46	franco	1,50	2,78	20,6	12,7	94
A3	Anguil	80	17	31	52	franco arenoso	1,80	3,75	18,7	11,5	68
A4	Anguil	120	18	34	48	franco	3,10	5,96	19,9	12,3	109
A5	Anguil	100	10	14	76	franco arenoso	1,70	7,08	10,0	6,4	54
E1	E. Martini	100	15	31	54	franco arenoso	1,60	3,48	18,0	11,1	83
E2	E. Martini	100	14	27	59	franco arenoso	1,50	3,66	16,4	10,0	76
E3	E. Martini	100	16	22	62	franco arenoso	1,90	5,00	15,5	9,4	72
E4	E. Martini	100	18	40	42	franco	2,40	4,14	21,9	13,6	99
E5	E. Martini	100	24	35	41	franco	2,30	3,90	22,2	13,8	100

retención de agua útil (CRAu) del perfil del suelo entre localidades y dentro de cada localidad bajo estudio (Tabla 1). En general la profundidad de los suelos varío entre 80 a más de 200 cm, mientras que los niveles de MO se encontraron entre 0,9% para un suelo arenoso franco a 3,1% para un suelo franco, la CRAu varió de 54 a 141 mm y los contenidos de arcilla más limo (A+L) varia-ron de 14 a 59%. Esta variabilidad que se encontró a nivel regional como también dentro de cada localidad representa una limitante al momento de elaborar estrategias de manejo, condicionando la generalización de recomendaciones sobre factores que inciden sobre el comportamiento de cultivares en cuanto al rendimiento y calidad de trigo. El rendimiento de los testigos varió ampliamente entre sitios en un rango de 613 a 4500 kg.ha⁻¹. Hay una respuesta de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del testigo que se relaciona con el índice de MO/A+L (IMO) (Figura 1). Los sitios con un IMO menor a 4,5 % la dosis de 80 kg.ha⁻¹ de nitrógeno a la siembra incrementó el rendimiento en un 44% alcanzando rendimientos medios de 3671 kg.ha⁻¹. La misma dosis en suelos con mayor IMO el incremento

es de 75% más respecto del testigo, alcanzando rendimientos medios de 2003 kg.ha⁻¹. Sin embargo, a diferencia de los observado en cebada (Quiroga *et al.*, 2006) cuando el trigo alcanzó mayores rendimientos también se comprobó respuesta a nitrógeno en suelos con IMO > a 4,5%. La fracción fina del suelo y los contenidos de MO mejoran las estimaciones de las condiciones del suelo necesarias para una óptima producción del trigo, tanto desde el punto de vista nutricional como desde el punto de vista de la condición física del suelo. Asociado a la pérdida de MO (IMO más bajo) resulta más frecuente el problema de compactación sub superficial (Quiroga *et al.*, 2017), por lo que las raíces no podrán utilizar el agua físicamente disponible en el perfil, por aumento de la resistencia a la penetración (Fernández *et al.*, 2017). Esta limitación física en suelos con menores IMO explicaría la menor respuesta de trigo a N.

Las precipitaciones acumuladas durante el ciclo del cultivo de trigo fueron de 281, 426 y 665 mm para las localidades de Macachín, Anguil y Embajador Martini respectivamente (Figura 2). Al momento de la siembra (junio) la disponibilidad hídrica en el perfil no fue

limitante para ningún sitio, presentando entre un 4 a 36% del agua total como agua gravitacional (Tabla 2). Condición que se mantuvo durante floración, en la cual, el perfil del suelo se encontró en la mayoría de los sitios con presencia de agua gravitacional, esta condición hídrica favoreció la respuesta del aporte de nitrógeno aún en suelos con IMO >4,5%. Excepto para A5 donde el perfil estaba en capacidad de campo. Si bien en

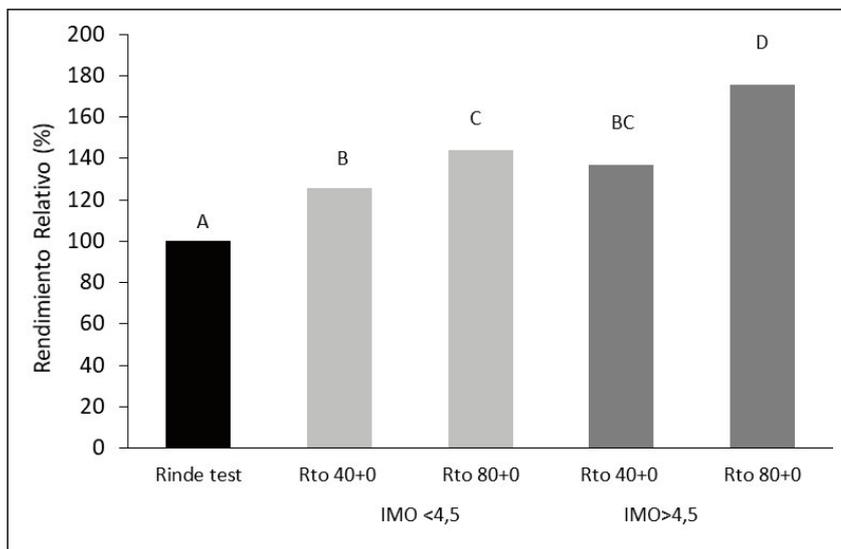


Figura 1. Rendimiento relativo de trigo (%) para los tratamientos de fertilización de 40+0 y 80+0, para suelos con IMO <4,5% e IMO>4,5%. Comparación de medias LSD Fisher ($p>0.05$).

Figure 1. Relative wheat yield (%) for fertilization treatments of 40 + 0 and 80 + 0, for soils with IMO <4.5% and IMO > 4.5%. Comparison of LSD Fisher averages ($p> 0.05$).

Tabla 2. Agua útil (mm) y gravitacional (mm) a la siembra, floración y cosecha. Oferta hídrica (mm), EUA (kg.ha⁻¹.mm⁻¹), nitratos al momento de la siembra (kg.ha⁻¹) y precipitaciones (mm).

Table 2. Useful water (mm) and gravitational (mm) for sowing, flowering and harvesting. Water supply (mm), WUE (kg.ha⁻¹.mm⁻¹), nitrates at the time of planting (kg.ha⁻¹) and rainfall (mm).

Localidad	Sitio	A+L (%)	CRAu (mm)	AU siembra (mm)	Agua si Gravitacion al (mm)	AU floración (mm)	Agua fl gravitacional (mm)	AU cosecha (mm)	Oferta hidrica (mm)	UC (mm)	EUA (Kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹)	N-NO ₃ siembra (kg.ha ⁻¹)	Precipitaciones (mm)
Macachín	M1	14	95	93	30	87	32	34	477	443	2,6	13	384
Macachín	M2	41	76	76	44	76	20	20	357	337	9,0	16	281
Macachín	M3	56	135	135	63	135	19	19	416	396	7,6	44	281
Macachín	M4	59	140	140	175	140	110	110	421	310	9,2	51	281
Macachín	M5	48	120	120	24	112	6	6	529	523	9,9	47	409
Anguil	A1	39	74	74	42	57	61	61	500	438	7,7	30	426
Anguil	A2	54	94	94	24	56	25	25	520	494	5,7	26	426
Anguil	A3	48	68	68	48	67	11	11	495	483	3,3	20	426
Anguil	A4	52	109	108	35	100	68	68	534	466	4,9	26	426
Anguil	A5	24	54	54	74	50	0	0	480	480	4,3	50	426
E. Martini	E1	46	83	83	43	83	78	78	738	659	3,1	29	655
E. Martini	E2	41	76	76	76	76	74	74	731	657	4,6	27	655
E. Martini	E3	38	72	72	72	72	70	70	727	656	1,4	41	655
E. Martini	E4	58	99	99	10	75	79	79	754	674	4,9	50	655
E. Martini	E5	59	100	100	21	94	90	90	755	665	7,2	34	655

Macachín las precipitaciones fueron menores la influencia de la napa resultó clave para cubrir los requerimientos del cultivo, ya que al momento de la siembra y en floración los suelos

presentaban en el perfil muestreado entre 20 a 111 mm de agua gravitacional.

Cuando las precipitaciones no constituyen una limitante durante el desarrollo del cultivo

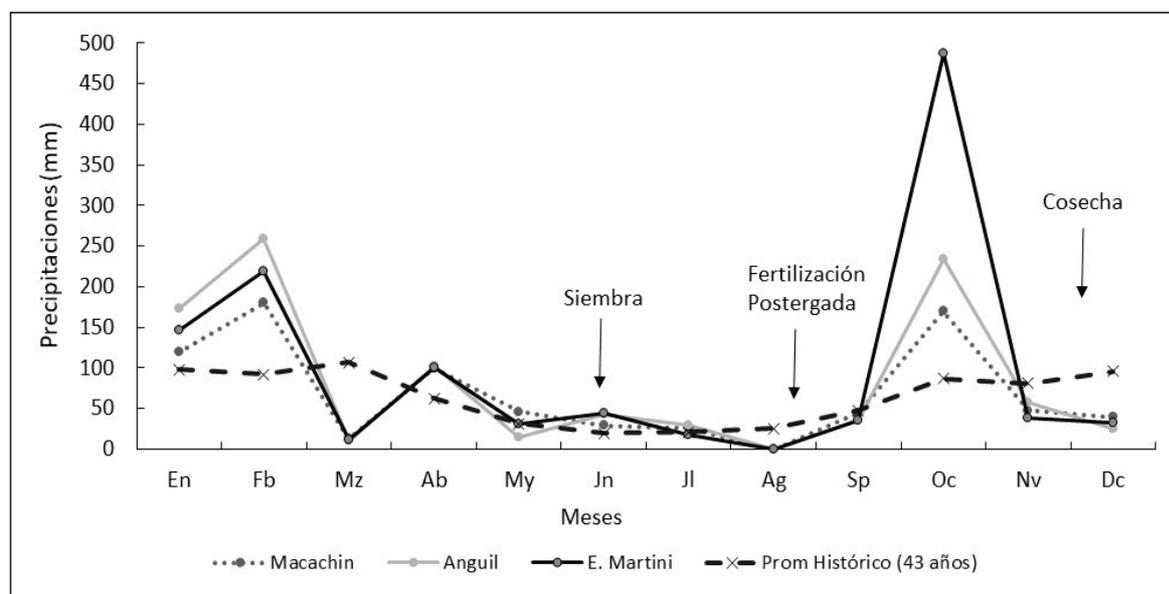


Figura 2. Distribución de las precipitaciones para las tres localidades durante el año 2016, y el promedio histórico de lluvias de los últimos 43 años proporcionada por la estación meteorológica de la EEA Anguil.

Figure 2. Rainfall distribution for the three locations along 2016, and historical rainfall average along the last 43 years provided by the EEA Anguil weather station.

(Figura 2, Tabla 2), el rendimiento podría verse restringido por la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Díaz-Zorita *et al.*, 1999). En ese sentido, en los suelos que presentaron menos del 50% de A+L, los rendimientos variaron de 2083 a 2940 kg.ha⁻¹ entre el testigo y 80+0 sin presentar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0,0648$) (Figura 3). Estos sitios presentaron en promedio 29,3 kg N.ha⁻¹ a la siembra del cultivo de trigo. Por el contrario, en los suelos con más del 50% de A+L, el mayor rendimiento se observó con 80+0 sin diferenciarse de 40+40 y 40+0 alcanzando valores de 3461, 3435 y 3145 kg.ha⁻¹ respectivamente, mientras que el testigo rindió 2468 kg.ha⁻¹ sin diferencia con 0+40 (Figura 3). A la siembra estos sitios tuvieron más contenido de N-NO₃ (39 kg N.ha⁻¹). La disponibilidad de nitrógeno no solo condiciona el rendimiento sino también condiciona el nitrógeno exportado a grano, interviniendo en la determinación del contenido proteico. Los suelos de textura más fina presentan una mayor fertilidad potencial del suelo, por lo tanto, mayor aporte de nutrientes especialmente de nitrógeno para las plantas. El testigo con >50% A+L rindió más que el testigo en suelos con textura más gruesa, y con 993 kg.ha⁻¹ de respuesta a la fertilización con 80+0.

Analizando el contenido de proteína en granos, el testigo presentó valores promedio de 8,5% y 9% para suelos con textura fina y gruesa, respectivamente. El valor

máximo se observó en el tratamiento 40+40 que alcanzó el 11% sin diferencias significativas con 80+0 (10,6%) en los suelos con <50% de A+L (Figura 4). Por otro lado, en los suelos con >50% de A+L. Por, otro lado, en los suelos con <50% A+L, el tratamiento 40+40 tuvo el mayor porcentaje (9,9%) sin diferencias significativas con 80+0 (Figura 4). Ambos suelos respondieron

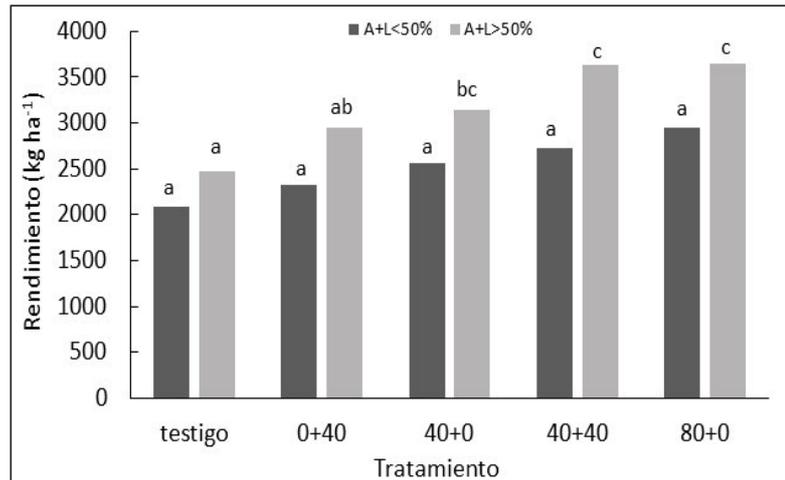


Figura 3. Rendimiento en función de los tratamientos de fertilización para suelos con A+L <50% y suelos con A+L >50%. Comparación de medias LSD Fisher ($p > 0.05$). Letras diferentes entre tratamientos dentro de una misma textura indican diferencias significativas

Figure 3. Yield based on fertilization treatments for soils with A + L < 50% and soils with A + L > 50%. Comparison of LSD Fisher averages ($p > 0.05$). Different letters between treatments within the same texture indicate significant differences

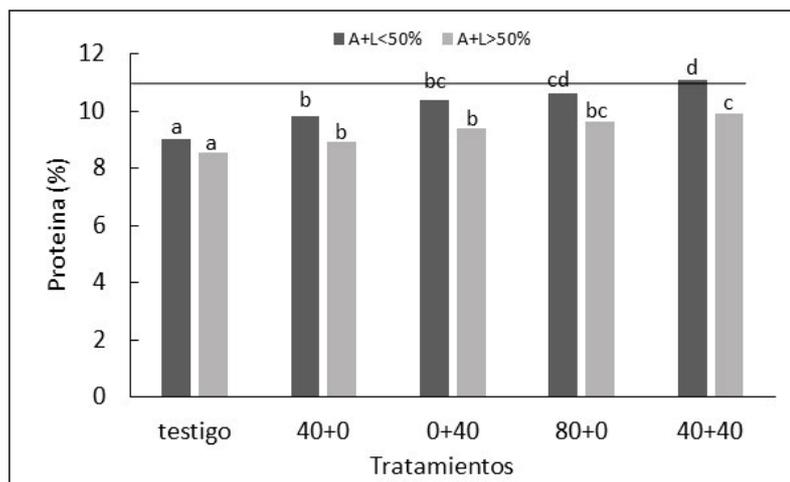


Figura 4. Proteína del grano (%) en función de los tratamientos de fertilización para los suelos con A+L <50% y A+L >50%. La comparación de medias con LSD Fisher ($p > 0.05$). Letras diferentes entre tratamientos dentro de una misma textura indican diferencias significativas.

Figure 4. Grain protein (%) according to fertilization treatments for soils with A + L < 50% and A + L > 50%. The comparison of means with Fisher LSD ($p > 0.05$). Different letters between treatments within the same texture indicate significant differences

al agregado de N, aun así, solo en el suelo de textura más gruesa y con fertilización dividida se logró alcanzar el porcentaje de proteína de 11% y cumplir con el estándar de comercialización.

Dada las condiciones edafo-climáticas y de manejo, se presentó una relación inversa entre el rendimiento y la calidad en el grano. Los suelos con <50% A+L de menor rendimiento lograron incrementar el contenido de proteína en grano significativamente, la fertilización dividida (siembra + macollaje) resultó la mejor estrategia de manejo, ya que el nitrógeno aplicado en macollaje fue destinado a la formación de proteína en grano. En cambio, en los suelos con >50% A+L, la fertilización favoreció el rendimiento, pero fue insuficiente para lograr altos contenidos de proteína por efecto de dilución. Otro factor que influyó en la escasa respuesta de este ambiente fue el exceso de precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo (Figura 2), que posiblemente provocó lavado de nitrógeno del suelo. Esto se observa cuando no hay respuesta en los contenidos de proteína entre agregar 80 kg N.ha⁻¹ a la siembra o con la fertilización postergada de 40 kg N.ha⁻¹. Los altos contenidos de agua en el suelo, a mayor disponibilidad de nitrógeno normalmente aumenta la absorción de este nutriente por la planta, viéndose reflejado en mayor contenido de N en el grano (Figura 5) y en una mayor respuesta en rendimiento. La pendiente de dicha regresión indica la eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN), la cual disminuye a medida que aumenta la oferta de nitrógeno (suelo + fertilizante) en el suelo. La EUN varió de 1,37 a

0,33 kg N en grano por kg N suelo. La fertilización postergada contribuye a mejorar la eficiencia en el uso y absorción del fertilizante, ya que a la siembra la planta no absorbe todo el nitrógeno y se puede perder tanto por lixiviación como por volatilización. En años lluviosos, la aplicación de nitrógeno tiene bajas eficiencias de uso por las pérdidas que se producen por lavado, y la proteína puede verse inversamente correlacionada con las precipitaciones (Martínez *et al.*, 2015). Las abundantes lluvias en octubre no contribuyeron en rendimiento para diferenciar la fertilización dividida con la mayor dosis a la siembra. Hay una interacción entre las

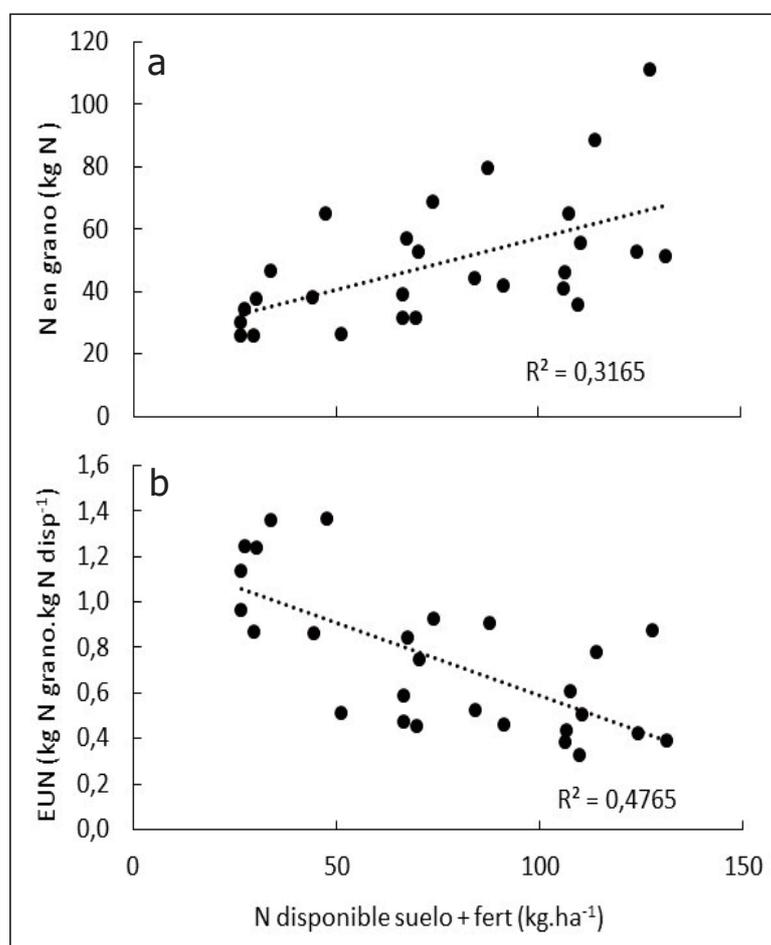


Figura 5. (a) Nitrógeno en grano expresado en kg.ha⁻¹ en función del nitrógeno disponible en kg.ha⁻¹ (suelo + fertilizante). (b) Eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) en función del nitrógeno disponible en kg.ha⁻¹ (suelo + fertilizante).

Figure 5. (a) Grain nitrogen expressed in kg.ha⁻¹ as a function of the available nitrogen in kg.ha⁻¹ (soil + fertilizer). (b) Efficiency in the use of nitrogen (EUN) as a function of the available nitrogen in kg.ha⁻¹ (soil + fertilizer).

condiciones edáficas, climáticas, de manejo y genotipo que influyen entre la disponibilidad de nitrógeno, el rendimiento y la determinación de calidad (Cuniberti *et al.*, 2004; Frolla *et al.*, 2017). Ferraris y Arias Usandivaras (2017) lograron obtener elevados rendimientos y contenidos de proteína combinando altas dosis de fertilizante (240 Kg Urea) y momento de aplicación, con un fuerte impacto de la fertilización al macollaje. La fertilización postergada es una estrategia cuando la fertilización de base es adecuada. Frolla *et al.* (2017) comprobaron que dosis de 100 kg N en macollaje mostró la mayor respuesta en rendimiento combinada con 20 kg N en antesis para lograr alcanzar el estándar de proteína, en el sureste bonaerense. Determinar la fertilidad inicial del suelo y conocer el potencial de rendimiento del lote, permitiría ajustar las dosis de fertilizante y los momentos de aplicación para lograr maximizar el rendimiento y la calidad (Barbieri *et al.*, 2009).

Si bien existen antecedentes acerca de la influencia del nitrógeno en la eficiencia en el uso del agua por parte de los cultivos en la zona de estudio, hasta el momento resultan escasos los estudios que aborden la interacción entre el cultivo, la fertilización y calidad de grano.

CONCLUSIONES

La región semiárida pampeana presenta variaciones dentro de cada localidad en cuanto a las propiedades edáficas que puedan afectar el rendimiento y calidad de trigo, por lo que las decisiones de manejo tales como dosis y momento de aplicación de fertilizante dependen de las condiciones de sitio presentes. En este estudio las diferencias texturales de los suelos resultaron una propiedad importante al momento de explicar variaciones en el rendimiento de trigo.

Si bien la precipitación, es la principal limitante en esta región, en un escenario con adecuada recarga hídrica del perfil en todo el ciclo e influencia de napa, los bajos contenidos de nitrógeno en suelo limitan la producción del cultivo de trigo. Para lograr altos rendimiento y contenido de proteína en grano mayor al 11%, se deberían adoptar estrategias de aumentar las dosis

de fertilización nitrogenada y combinar los momentos de aplicación para incrementar su eficiencia de uso.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a los productores por facilitarnos sus establecimientos para desarrollar la experiencia, a la cooperativa Ltda. Anguil, Embajador Martini y Macachín, y al Proyecto Regionales (PRET 1282101) y Proyecto Nacional (1133033) de INTA por la financiación.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, P., Echeverría, H., y Rozas, H. S. (2009). Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 27, 41-47.
- Belmonte, M. L., Bellini, Y., Lorda, H., Fuentes, M. E., y Rossi, A. (2010). Caracterización tecnológica y productiva del cultivo de trigo y otro cereales de invierno para la región semiárida pampeana central. *El cultivo de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana*. EEA INTA Anguil. pp. 13-31.
- Belmonte, M. L., Casagrande, G. A., Deanna, M. E., Olgún Paez, R., Farrell, A., Babinec, F. J. (2017). Estadísticas Agroclimáticas de la EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_estadisticas_agroclimaticas_eea_anguil.pdf
- Bono, A., Quiroja, A., y Frasier, I. (2010). El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana, Publicación técnica INTA Anguil.
- Bouyoucos, G. J., (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agronomy Journal*, 54, 464. doi:10.2134/agronj1962.00021962005400050028x
- Brach, A. M. (2012). Factores que determinan la variación de la calidad panadera en trigo. *Voces y Ecos*, 28, 26-29.
- Cuniberti, M. (2001). Parámetros de calidad que definen al trigo Argentino. Publicación técnica trigo. INTA Marcos Juárez.
- Cuniberti, M., y Mir, L. (2016). Proteínas del trigo. Factores que influyen en su expresión. Publicaciones EEA INTA Marcos Juárez.
- Cuniberti, M., Nisi, J., y Masiero, B. (2004). Estabilidad en la Calidad de Variedades de Trigo. *IDIA*, 4, 26-28.
- Díaz-Zorita, M. (2000). Efecto de dos momentos de aplicación de urea sobre la producción de grano de trigo en Drabble (Buenos Aires, Argentina). *Ciencia del Suelo*, 18.
- Díaz-Zorita, M., Buschiazzo, D. E., & Peinemann, N.

- (1999). Soil organic matter and wheat productivity in the semiarid Argentine pampas. *Agronomy Journal*, 91, 276-279. doi:10.2134/agronj1999.00021962009100020016x
- Fenandez, R. (2007). Efecto de la cobertura del suelo durante el barbecho para cultivo estivales en la región semiárida pampeana (Tesis Magister). Universidad Nacional del Sur.
- Fernández, R., Quiroga, A., Lobartini, C., y Noellemeyer, E. (2017). Determinación del intervalo hídrico óptimo en ustoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia del Suelo*, 35, 215-227.
- Ferraris, G. N. (2009). Fertilización nitrogenada de trigo y otros cereales de invierno. Criterios de manejo para incrementar su eficiencia. *International Plant Nutrition Institute*, 61-66.
- Ferraris, G. N., y Arias Usandivaras, M. L. (2017). Respuesta diferencial a estrategias de nutrición en cultivares de trigo y cebada cervecera. *Trigo/Cebada*, 10, 38-42.
- Fischer, R. A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science*, 105, 447-461. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Fritz, N., y Renzi, D. (2017). *Primer Informe de Calidad 2017*. Bahía Blanca: Cámara Arbitr. Cereal (URL [http://www.cacbb.com.ar/documentos/CACBB - Primer Informe de Calidad 2017.pdf](http://www.cacbb.com.ar/documentos/CACBB_-_Primer_Informe_de_Calidad_2017.pdf))
- Frolla, F., Zilio, J., y Krüger, H. (2017). *Diagnóstico y fertilización nitrogenada de trigo en el sudoeste bonaerense*. Bordenave: EEA INTA Bordenave y Ministerio Agroindustria. (URL https://inta.gov.ar/sites/default/files/informe_tecnico_fert_tgo_campa_2016_-_plantilla_oficial_0.pdf)
- Funaro, D. O. (2007). Efecto del régimen hídrico y calidad de los suelos sobre el rendimiento y respuesta a la fertilización nitrogenada de girasol en la Región Semiárida Pampeana (Tesis Magister). Universidad Nacional del Sur.
- Klute, A. (1986). Water Retention: Laboratory Methods., in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. *Agronomy*, 9, 635-662.
- López, M. V., & Arrúe, J. L. (1997). Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil & Tillage Research*, 44, 35-54. doi:10.1016/S0167-1987(97)00030-5
- MAGyP (2017). Datos Abiertos Agroindustria [WWW Document]. Disponible en <https://datos.magyp.gob.ar/> (accessed 7.25.17).
- Martínez, J. M., Galantini, J. A., y Landriscini, M. R., (2015). Eficiencia en el uso del nitrógeno del trigo en la región semiárida de Buenos Aires (Argentina): efectos de la dosis y momento de aplicación. *Agriscientia*, 32, 15-27.
- Miralles, D., Serrago, R. y Carretero, R. (2007). Producción de Trigo. AACREA (Ed.), *Generación del rendimiento en trigo*. pp. 15-26.
- Miralles, D., Windauer, L., y Gomez, N. (2003). Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos, in: Satorre, E., Benech-Arnold, R., Slafer, G.A., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M.E., Savín, R. (Eds.), *Bases Funcionales Para Su Manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, pp. 61-74.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods Soil Anal. Part 2. Chem. Microbiol. Prop.* 9, 539-579. doi:10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29
- Quiroga, A., Buschiazzo, D., Peinemann, N., 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Science*, 163, 591-597.
- Quiroga, A., Fernández, R., Ormeño, O., Frasier, I., y Noellemeyer, E. (2008). Influencia del ambiente edáfico y la fertilización nitrogenada, en cultivares de trigo diferenciados por su potencial. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 19, 24-33.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E., y Peinemann, N. (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 90, 63-68. doi:10.1016/j.still.2005.08.019
- Satorre, E. H., Benech, R. L., Slafer, G. A., de la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E., y Savin, R. (2012). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo, Facultad d. ed.
- Scian, B. (2000). ENSO y su relación con las anomalías de precipitación en la pradera pampeana. *Geoacta*, 25, 23-40.
- Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentos, (2004). Programa Nacional de calidad de trigo.
- Studdert, G. A., Carabaca, L. S., y Echeverría, H. E. (2000). Estimación del nitrógeno mineralizado para un cultivo de trigo en distintas secuencias de cultivos. *Ciencia del Suelo*, 18.