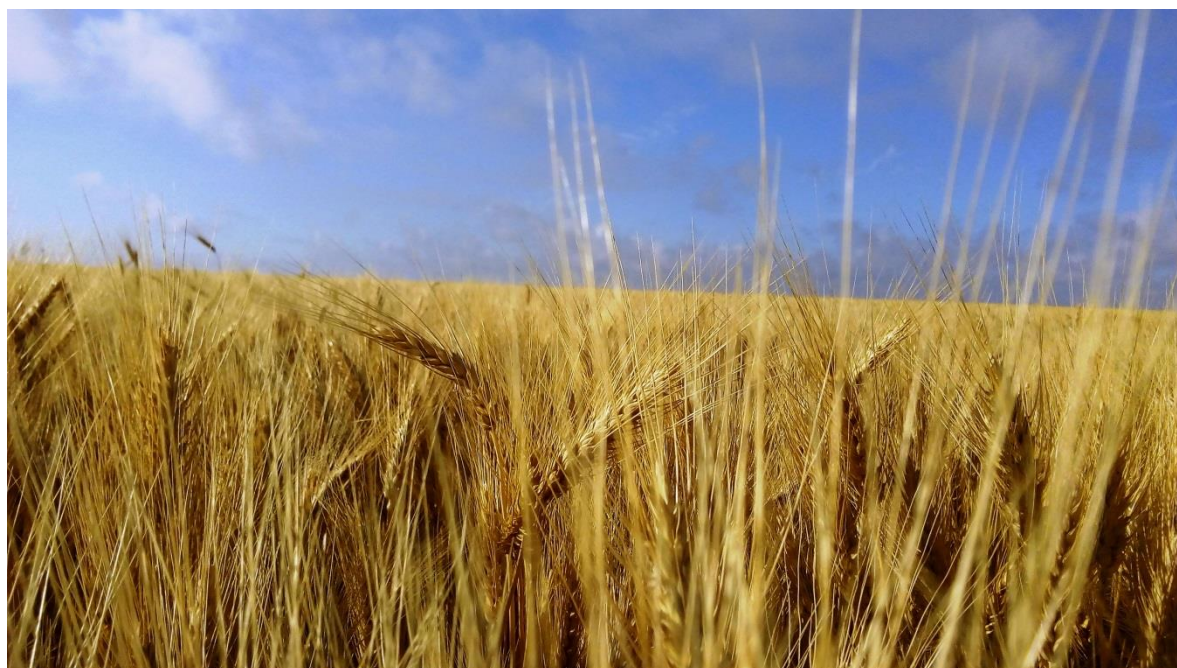


RED DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TRIGO

RESULTADOS CAMPAÑA 2018



Autores:

**Josefina Zilio, Franco Frolla y Hugo Krüger
INTA, EEA Bordenave**

Participantes:

**Emanuel Lageyre (AER Carhué, EEA Cesáreo Naredo)
Nelson Gibelli (AER Pigué, EEA Bordenave)
Carlos Torres Carbonell (AER Bahía Blanca, EEA Bordenave)
Paul Ventimiglia (Actividad privada, Guatraché)
Adrián Smith (Actividad privada, Bordenave)
Joaquín Larrañaga (Actividad privada, 17 de Agosto)**

Agradecimientos:

Cooperativa Agropecuaria Darregueira Ltda.

Actividad financiada por el Convenio INTA, EEA Bordenave - PROFERTIL SA

Introducción

El cultivo de trigo es una de las actividades más difundidas en el área de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Bordenave. Los resultados físicos y económicos suelen ser muy variables ya que en cada campaña se combinan factores climáticos, edafológicos, económicos y de manejo que inciden en forma diversa sobre la producción.

Uno de los factores principales es la variabilidad climática. En el mediano plazo ésta determina períodos húmedos y secos de duración variable en años. En el corto plazo, la variación interanual es importante determinando años húmedos y secos sin solución de continuidad. A su vez, la distribución mensual de las precipitaciones también varía, resultando entonces los promedios históricos de poca utilidad en cuanto a la planificación productiva.

Los suelos de la región se caracterizan por una relativamente escasa profundidad efectiva, limitada por un horizonte petrocálcico conocido localmente como “tosca”. Esto determina baja capacidad de retención de agua que, combinada con la variabilidad de las precipitaciones hace que la disponibilidad de agua para los cultivos resulte una limitación frecuente. Por su parte, los nutrientes más deficitarios son nitrógeno (N) y fósforo pudiendo existir, según las características de los suelos, deficiencias puntuales de azufre y zinc entre otros.

A lo largo de la historia agropecuaria de la región altas presiones productivas, ausencia de rotaciones planificadas, subfertilización y exceso de laboreo mecánico entre otros condicionantes han producido una disminución importante en la fertilidad de los suelos. La caída en fertilidad se hace más evidente en años húmedos, donde el incremento de la producción aumenta los requerimientos de los cultivos, siendo necesario recurrir a fertilizantes químicos para posibilitar altos rendimientos y mantener los parámetros de calidad.

La variabilidad climática mencionada dificulta el manejo de la fertilización, especialmente la nitrogenada. Niveles subóptimos de aplicación, bajo condiciones ambientales favorables, afectan los rendimientos y/o calidad comercial del grano. Por el contrario altas dosis de N en condiciones ambientales desfavorables, limitan la expresión del fertilizante afectando principalmente los rendimientos y el resultado económico.

La Estación Experimental mantiene desde 2016 una red de experimentos en la región con el objetivo general de establecer niveles de fertilización nitrogenada adecuados a una producción triguera sustentable. Esto implica: rendimientos elevados, sostenidos en el tiempo, compatibles con el estándar de calidad y con niveles de rentabilidad aceptables. Los experimentos se llevan adelante con la colaboración de las Agencias de Extensión del INTA, profesionales del medio y empresas comerciales. Se busca determinar aquellas dosis de N que mejor respuesta presentan en diferentes campañas. Además, estudiar la relación entre esas dosis e indicadores de fertilidad del suelo para mejorar las condiciones del diagnóstico. En este informe se presentan los resultados correspondientes a la campaña 2018.

Materiales y métodos

Se establecieron cinco experimentos en distintas localidades del área de influencia de EEA Bordenave en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires: 17 de Agosto, El Pincén y Guatraché corresponden a la zona semiárida, Carhué y Pigüé se encuentran en la zona subhúmeda (Figura 1). Los suelos corresponden a los subórdenes Haplustoles y Hapludoles respectivamente manteniendo en cada sitio experimental una profundidad media superior a 60 cm. Los experimentos fueron conducidos en lotes comerciales de trigo pan bajo el manejo utilizado por cada productor excepto la fertilización nitrogenada. Las variedades utilizadas fueron: Buck Bellaco (17 de Agosto), ACA303 (Carhué), Buck Meteoro (Guatraché), ACA360 (Pigüé) y ACA602 (El Pincén).

En cada sitio se caracterizaron los parámetros edáficos clásicos en la capa 0-12 cm: pH, fósforo extractable (Pe) y materia orgánica (MO). En la capa 0-20 cm se determinó el nitrógeno anaeróbico (Nan), por incubación de las muestras en anaerobiosis durante siete días. Posteriormente a la siembra del trigo se establecieron cinco balances de N: Testigo (N disponible en el suelo, Nd), 100, 120, 140 y 160N. Se utilizó el método del balance simplificado, cuantificando el N disponible en el suelo (0-60 cm) posterior a la siembra (Z1.2) y realizando aplicaciones de urea

a macollaje para alcanzar cada nivel propuesto (Z2.2-Z2.4, inicios de septiembre). En floración (mediados de noviembre) se realizaron aplicaciones foliares de N en dos niveles: 0 y 20 kg N ha⁻¹ utilizando el producto FoliarSol U (20% N).

En ese momento se realizaron mediciones de índice de verdor (IV) mediante un medidor de clorofila SPAD Minolta®. Con los valores obtenidos se calculó el índice de suficiencia nitrogenada (ISN) como el cociente entre el valor de IV de cada parcela y el máximo valor de IV para ese sitio. En floración y madurez fisiológica se determinó la biomasa aérea acumulada y en la última el rendimiento en grano. En cada una de estas etapas se evaluó, en las parcelas testigo, el contenido de agua útil del suelo (0-80 cm) y de Nd como nitratos (0-60 cm). Para las determinaciones de biomasa aérea y rendimiento se cortaron cuatro metros lineales de surco con hoz a 5 cm del suelo. La biomasa correspondiente a floración se secó en estufa a 60°C hasta peso constante para determinar materia seca (MS). El rendimiento se obtuvo por trilla mecánica calculándose, por diferencia de pesos la biomasa aérea en madurez fisiológica. El contenido de proteína en grano se analizó mediante un equipo NIRT Infratec 1241 (13,5% de humedad). Para los sitios que presentaron respuesta a la fertilización, se calculó la eficiencia agronómica de uso de fertilizante (EAUF) según la ecuación: $EAUF (kg \text{ grano } kg \text{ Nf}^{-1}) = (RF - RT) / \text{dosis de N}$, siendo RF el rendimiento en grano para cada balance de N (kg ha⁻¹), RT el rendimiento del testigo (kg ha⁻¹) y dosis de N los kg de N aplicado para obtener cada balance.

El diseño estadístico en cada sitio fue un factorial doble en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 3 x 10 m. El balance de N al macollaje fue el factor principal y los niveles de aplicación foliar en floración el factor secundario en parcela dividida. Se analizó, además, un modelo completo para toda la red, considerando efectos de ambiente (sitio, con el efecto de bloque anidado en cada ambiente), tratamiento (balance de N al macollaje) y subtratamiento (nivel de aplicación foliar en floración) a través de un análisis de varianza trifactorial. Cuando existieron efectos significativos, las medias se compararon mediante el test LSD ($\alpha=0,05$ o 0,10). Se realizaron ajustes lineales y polinómicos de segundo grado mediante regresión lineal para el establecimiento de relaciones entre variables de suelo y cultivo. Los softwares utilizados para los análisis estadísticos fueron R (R Core Team, 2017) e Infostat® (Di Rienzo et al. 2012).



Figura 1. Localización de los sitios experimentales 2018.

Resultados

Condiciones climáticas

La campaña 2018 se caracterizó por precipitaciones oportunas en momentos críticos del ciclo del trigo, aunque los totales anuales hayan sido menores que los normales en la mayor parte de los sitios (Tabla 1). La captación de agua por los barbechos se produjo principalmente durante los meses de abril y mayo siendo destacables las mayores precipitaciones ocurridas en Carhué y en menor medida 17 de Agosto y las menores en Guatraché. La distribución temporal fue variable. Durante la implantación del cultivo (junio-

agosto) las precipitaciones fueron especialmente bajas en Pigüé, y elevadas/normales en Carhué y Guatraché. Inmediatamente después de la fertilización (septiembre) fueron relativamente abundantes en Carhué y 17 de Agosto, y normales o ligeramente inferiores en el resto de los sitios. Durante el período crítico del trigo (oct-nov) registraron máximos en Carhué y mínimos en Guatraché. Las lluvias durante el ciclo del cultivo (agosto-noviembre), generalmente correlacionados con los rendimientos, mostraron valores superiores a los 200 mm excepto en Guatraché (161 mm). Niveles de precipitación mayores a 200 mm durante el ciclo del cultivo posibilitan rendimientos medios de 3800 kg ha⁻¹ según estudios de larga duración realizados en Bordenave (Krüger, 2015). A lo largo de los distintos períodos se destacan las mayores precipitaciones de Carhué, las mínimas de Guatraché y un período entre abril y fines de septiembre con precipitaciones relativamente escasas en Pigüé.

Durante la finalización de la campaña, se registraron temperaturas cercanas a 0 °C, que afectaron el rinde de manera marcada en casos puntuales. En la Figura 2 se visualizan datos diarios de temperaturas máximas, mínimas y ocurrencia de heladas agronómicas registradas por la estación meteorológica automática de la EEA Bordenave. No se cuenta con registros de los restantes sitios aunque estos eventos fueron de carácter regional. En líneas generales, ocurrió una demora en la cosecha por el alargamiento del ciclo de cultivo y a su vez, reiteradas tormentas en el mes de diciembre dejaron caer granizo, causando pérdidas importantes por sectores. Aún con estas dificultades, la zona manifestó un 12% de aumento en la producción total de trigo respecto de la campaña anterior (Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca, 2019) indicando que las condiciones ambientales fueron favorables para la producción.

Tabla 1. Precipitación registrada en los sitios de estudio para distintos períodos de la campaña 2018 y valores históricos.

SITIO	PRECIPITACIÓN POR PERIODO					Histórico Ago-Nov	Anual	Histórico anual
	Abr-Jun	Jun-Ago	Sept	Oct-Nov	Ago-Nov			
	----- mm -----							
17 de Agosto	194	45	69	129	211	265	547	770
Carhué	243	65	115	217	364	305	846	868
Guatraché	134	78	47	101	161	291	437	752
Pigüé	154	20	46	176	222	272	547	881
El Pincén	169	48	49	160	222	276	508	873

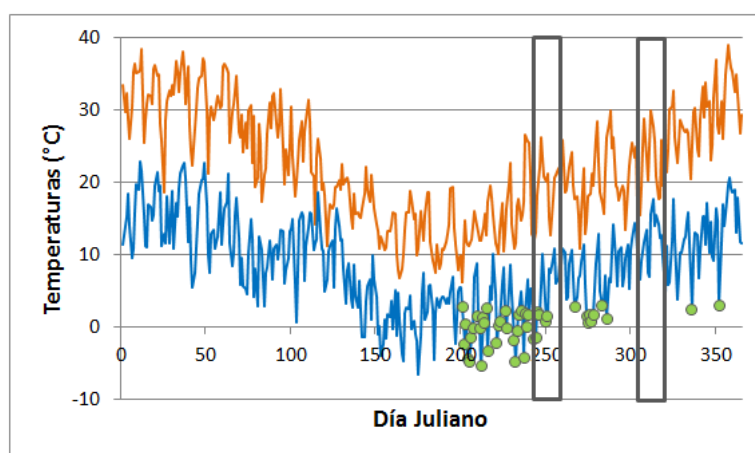


Figura 2. Evolución de las temperaturas diarias para el año 2018 en Bordenave. La línea inferior indica la temperatura mínima, la superior la temperatura máxima. Los puntos señalan la ocurrencia de heladas agrometeorológicas (<3°C en abrigo a 150 cm). Los rectángulos representan el período de aplicación de fertilizante a macollaje y antesis.

Parámetros de suelo

Los suelos bajo estudio cuentan con una historia agrícola relativamente larga, sin presencia de pasturas perennes en los últimos diez años. Mostraron parámetros que pueden ser considerados normales para cada sitio (Tabla 2): pH cercanos a la neutralidad o ligeramente ácidos en la zona subhúmeda, contenidos de Pe relativamente altos excepto Guatraché y 17 de Agosto, valores de MO adecuados a la clase textural y ubicación del sitio en la región y contenido de Nd al inicio de la campaña relativamente elevado en relación con otros años. La excepción fue 17 de Agosto que inició el ciclo con bajo nivel de Nd. El contenido de agua útil a macollaje (AUM) puede considerarse adecuado en función de la capacidad de retención de agua de estos suelos y las precipitaciones de abril-mayo. El bajo nivel de agua y Nd en 17 de Agosto tuvo relación con un período de barbecho relativamente corto. Las precipitaciones ocurridas en los meses de octubre y noviembre revirtieron el déficit en 17 de Agosto y repusieron el agua consumida por el cultivo excepto en Carhué y Guatraché. En el primer caso el suelo se recuperó con las abundantes lluvias de fines de noviembre y durante diciembre. En Guatraché, en cambio, el déficit se mantuvo hasta fin del ciclo.

Tabla 2. Caracterización de los sitios evaluados.

Localidad	pH	Pe (ppm)	MO (%)	AUM (mm)	AUA (mm)	NdM (kg ha ⁻¹)	NdA (kg ha ⁻¹)	Nan (ppm)	a+L (%)	Text ---
17 de Agosto	7,0	9,5	2,36	20,4	71,7	41,1	61,0	58,4	45	faA
Carhué	6,8	15,1	2,87	113,4	45,1	82,9	62,4	107,7	56	Fa
Guatraché	7,1	6,0	2,80	140,0	48,3	71,6	67,2	50,0	56	F
Pigüé	6,8	19,4	4,24	94,1	102,0	87,6	88,6	72,4	72	Fa
El Pincén	6,5	22,3	2,71	66,9	68,9	96,7	63,9	60,0	60	Fa

Referencias: Pe: contenido de fósforo extractable (Bray y Kurtz), MO: contenido de materia orgánica (Walkley-Black), AUM: contenido de agua útil del suelo a macollaje (método gravimétrico), AUA: contenido de agua útil del suelo en antesis, NdM: nitrógeno disponible como nitratos al momento de Z1,2 (Bremner), NdA: nitrógeno disponible como nitratos al momento de antesis, Nan: nitrógeno anaeróbico, a+L: contenido de arcilla y limo (Bouyoucos), Text: clase textural (faA: franco arcillo arenoso, Fa: franco arcilloso, F: franco).

Biomasa en antesis

La biomasa acumulada en antesis mostró un amplio rango, con valores medios de los testigos entre 3400 y 9000 kg MS ha⁻¹. Reflejando las condiciones potenciales de cada sitio de ensayo, Carhué y Pigüé mostraron los mayores valores y 17 de Agosto y Guatraché los menores (Tabla 3).

Tabla 3. Valores medios de biomasa aérea en antesis para cada localidad. Datos expresados en kg MS ha⁻¹. Dentro de cada columna letras diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha=0,05$).

	17 de Agosto	Carhué	Guatraché	Pigüé	El Pincén
Testigo	3432 a	9073 a	4292 bc	8133	5358
100N	4886 b	10626 abc	4137 ab	8329	5325
120N	6193 c	11311 bc	4820 c	7766	4587
140N	5561 bc	9359 ab	3651 a	8990	4657
160N	5945 c	11605 c	4347 bc	7750	5710
p-valor	<0,0001	0,044	0,003	0,54	0,217

La fertilización produjo efectos significativos sobre la biomasa en 17 de Agosto, Carhué y Guatraché, con el balance 120N produciendo las mayores diferencias respecto del testigo. Los balances mayores a 120N mostraron escasa respuesta. Pigüé y El Pincén, con bajas precipitaciones en el período siembra-antesis y valores relativamente altos de NdM y Nan, no mostraron respuesta al N aplicado. La variación del balance de N, explicó el 46 y el 56% de la variación en la producción de biomasa aérea en Carhué y 17 de Agosto respectivamente (Figura 3). En Guatraché la respuesta de los distintos balances siguió un patrón poco consistente, excepto por el incremento logrado sobre el testigo con el balance de 120N.

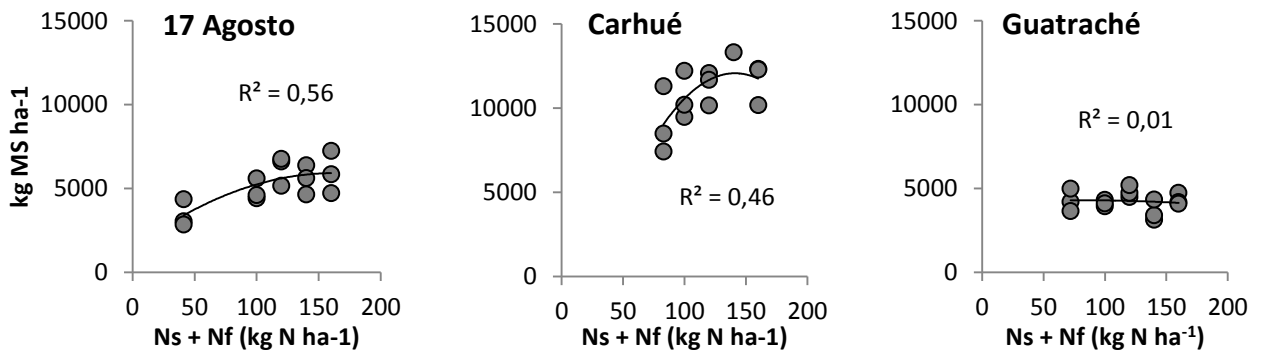


Figura 3. Relación entre el balance de nitrógeno (Ns + Nf) al macollaje y la producción de biomasa aérea en antesis (kg MS ha^{-1}) para los sitios con respuesta significativa a la fertilización.

De las variables edáficas estudiadas, la variación del contenido de Nan explicó el 81% de la variación de la biomasa en antesis de los testigos (Figura 4). La relación con las restantes (AUM, MO y NdM) fue débil y no significativa. La producción de MS de los sitios se ordenó según el potencial de mineralización, considerado una variable importante para cubrir la provisión de N del suelo en la etapa macollaje-antesis. La precipitación durante el mes de septiembre, período siguiente a la aplicación de la urea, también mostró efectos sobre la biomasa aérea (Figura 4). Esta precipitación se produjo principalmente luego del muestreo del suelo en macollaje, motivo por el cual no fue registrada por el AUM. En la figura, los puntos desfasados de la línea de regresión para una precipitación de 50 mm corresponden a Pigüé. La mayor producción de biomasa de este sitio se explicaría por un mayor potencial de mineralización respecto de los sitios que recibieron similar precipitación.

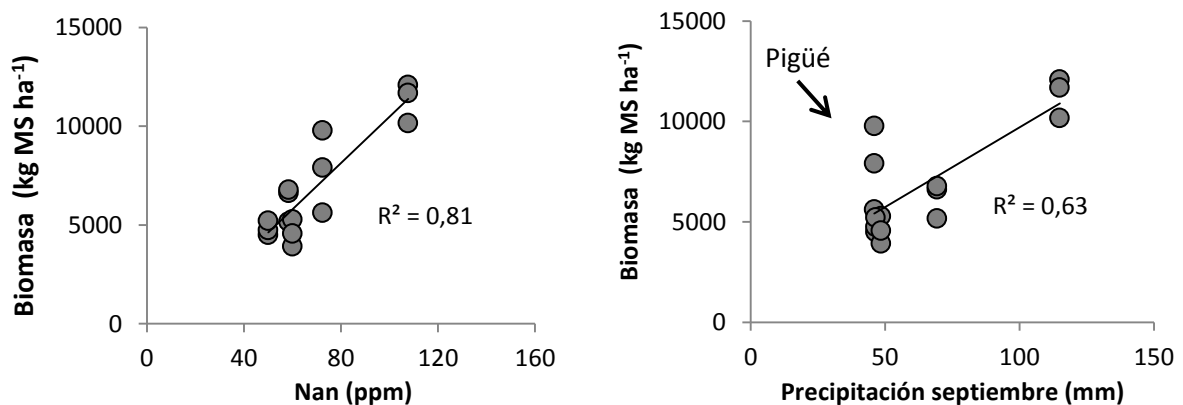


Figura 4. Relación entre el contenido de nitrógeno anaeróbico (izq.), la precipitación acumulada en el mes de septiembre (der.) y la biomasa producida en antesis en el balance 120N.

Biomasa en madurez fisiológica

Los valores medios de MS al final de ciclo variaron en un rango de 6200 a 11500 kg ha^{-1} en los testigos, con máximos de 8500 a 13500 kg ha^{-1} según el sitio y balance de N (Tabla 4). La producción relativa de los testigos mantuvo las características observadas en antesis, con los mayores valores en Carhué y Pigüé y los menores en 17 de Agosto y Guatraché.

Se observaron respuestas significativas al balance de N aplicado al macollaje en 17 de Agosto, Carhué y Pigüé. Con bajos niveles de precipitación, durante y al final del ciclo, Guatraché también respondió a la fertilización pero con incrementos de biomasa muy limitados y no significativos. Con el avance del ciclo en El Pincén se observó una importante pérdida de biomasa y plantas, que se atribuyó a problemas de fitotoxicidad por la aplicación de un herbicida residual en el cultivo anterior. Esto dificultó las evaluaciones de biomasa y rendimiento produciendo resultados poco claros. El balance 100N fue suficiente para

incrementar de manera significativa la producción de MS en 17 de Agosto, en Carhué y Pigüé fue 120N quien superó al testigo. En ningún caso se observaron diferencias respecto de los niveles mayores.

Los tratamientos de fertilización foliar en antesis no produjeron efectos sobre la biomasa a cosecha.

Tabla 4. Valores medios de biomasa aérea en madurez fisiológica para cada localidad. Datos expresados en kg MS ha⁻¹. Dentro de cada columna letras diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha=0,05$ excepto Carhué).

Nivel de N	17 de Agosto	Carhué	Guatraché	Pigüé	El Pincén
Testigo	6191 a	11528 a	7564	9653 a	8469
100N	10417 b	12679 ab	7989	10422 ab	8188
120N	11488 b	13492 b	7885	10705 bc	7265
140N	10943 b	13413 b	8261	11607 c	8007
160N	10972 b	12639 ab	8742	11667 c	8107
p-valor	0,0001	0,092	0,51	0,01	0,56

La disponibilidad de N, en función del contenido en el suelo y el aplicado como fertilizante (Ns y Nf), explicó proporciones variables (23 a 73%) de la variación en la producción de biomasa aérea en madurez fisiológica (Figura 5).

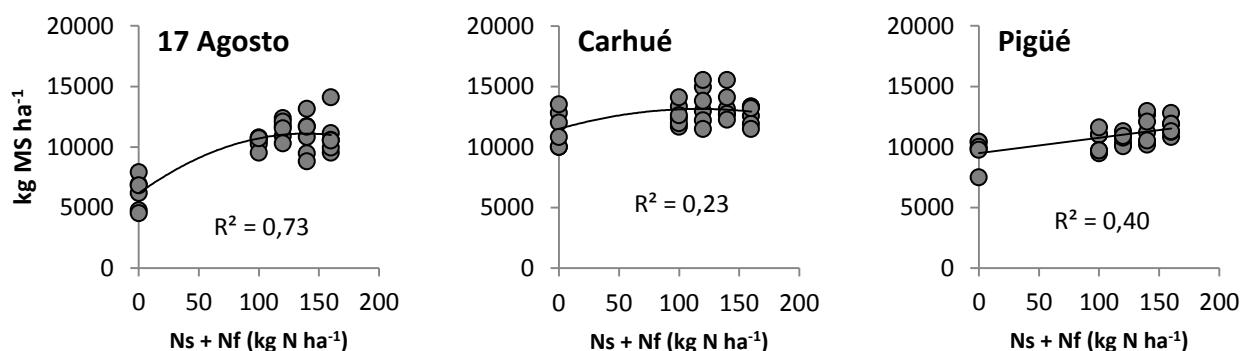


Figura 5. Relación entre el balance de nitrógeno (Ns + Nf) al macollaje y la producción de materia seca en madurez fisiológica para los sitios con respuesta significativa a la fertilización.

Al igual que en antesis, la biomasa aérea en madurez mostró influencia de la precipitación del mes de septiembre y del contenido de Nan, pero no del resto de las variables estudiadas (Figura 6).

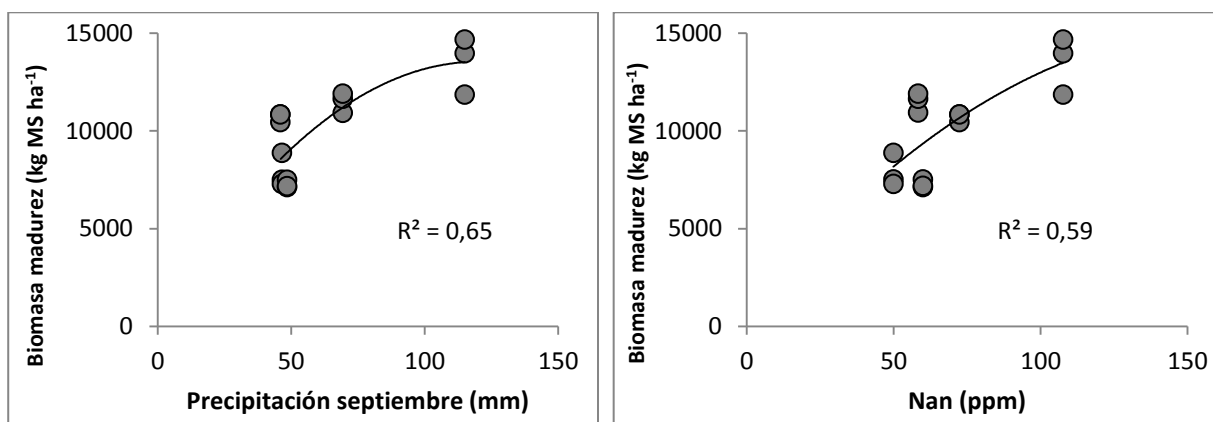


Figura 6. Relación entre la precipitación acumulada en el mes de septiembre (izq.), el contenido de Nan (der.) y la producción de materia seca en madurez fisiológica para el balance 120N en los sitios con respuesta significativa a la fertilización.

Rendimiento en grano

La producción de grano fue elevada en relación con los rendimientos habituales de la zona. Los valores medios oscilaron entre 2500 y 3900 kg ha⁻¹ en los testigos, con máximos entre 3800 y 5160 kg ha⁻¹ según sitio y balance de N (Tabla 5). Como referencia, los rendimientos históricos para el período 2010-2017 variaron entre 2600 y 2800 kg ha⁻¹ en los partidos de Adolfo Alsina y Puan (SAGyP, 2019). Los rendimientos de los testigos no reflejaron exactamente las condiciones potenciales de cada sitio indicando la existencia de interferencias de distinto tipo. Los máximos rendimientos se produjeron en Carhué y 17 de Agosto, este último considerado el sitio de menor fertilidad potencial. Por el contrario, Pigüé con valores elevados de MO y Nan sólo mostró rendimientos similares a Guatraché y El Pincén.

Tabla 5. Rendimiento de trigo por sitio y tratamiento. Datos expresados en kg grano ha⁻¹. Dentro de cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas dentro de cada sitio (LSD, $\alpha=0,05$).

Nivel de N	17 Agosto	Carhué	Guatraché	Pigüé	El Pincén
Testigo	2591 a	4326	3307	3166 a	3921
100N	4248 b	4829	3419	3461 ab	3689
120N	4731 b	5160	3443	3559 bc	3305
140N	4574 b	5098	3594	3849 cd	3711
160N	4494 b	4971	3786	3941 d	3551
p-valor _{Trat}	0,0006	0,16	0,57	0,003	0,54
p-valor _{Subtrat}	0,47	0,80	0,27	0,81	0,36

El análisis multiambiental, mostró interacción triple: sitio x balance de N en macollaje x fertilización foliar en antesis. Esto determinó que cada sitio se analizara por separado. La fertilización foliar en antesis no presentó efectos significativos sobre el rendimiento en grano.

La fertilización en macollaje produjo efectos significativos en 17 de Agosto y Pigüé. En el primero el incremento respecto del testigo se alcanzó con 100N. El rendimiento aumentó ligeramente con 120N aunque las diferencias entre balances no fueron estadísticas. Bajo condiciones muy favorables de precipitación, la respuesta en rendimiento de este sitio superó los 1600 (100N) y 2100 kg ha⁻¹ (120N). La Tabla 6 muestra los coeficientes de determinación para regresiones entre las variables biomasa en antesis y en madurez y el rendimiento en grano de los distintos sitios. Estas relaciones permiten detectar la ocurrencia de efectos ambientales negativos sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada en MS o en grano. La inexistencia de estos efectos en 17 de Agosto se corrobora por las buenas correlaciones entre las variables en las distintas etapas.

Tabla 6. Coeficientes de determinación (R^2) para relaciones entre biomasa en antesis y madurez fisiológica y rendimiento en grano en los sitios estudiados.

Variables	17 Agosto	Carhué	Guatraché	Pigüé	El Pincén
	----- R^2 -----				
BioAnt vs BioMad	0,78	0,23	0,001	0,03	0,08
BioAnt vs Rendimiento	0,67	0,26	0,0001	0,01	0,57
BioMad vs Rendimiento	0,73	0,29	0,92	0,29	0,03

La correlación positiva entre biomasa en antesis y biomasa en madurez se interpreta como la continuación hasta cosecha de los eventuales efectos logrados por la fertilización. Algo similar indica la relación biomasa en antesis-rendimiento, en este caso referido a la respuesta en grano. La existencia de correlación entre biomasa en madurez y rendimiento en grano confirma que el índice de cosecha no habría sido afectado por condiciones ambientales adversas (granizo, heladas, alta temperatura) en la última etapa de llenado.

Pigüé mostró incrementos lineales con el agregado de N, siendo 120N el balance que produjo diferencias con el testigo (Figura 7). La respuesta a N, cercana a los 400 kg ha⁻¹ con 120N, se incrementó a 700 kg ha⁻¹ con el máximo balance. Condiciones de alta fertilidad, junto con bajas precipitaciones en las primeras etapas del cultivo no produjeron efectos de la fertilización en antesis pero sí en madurez (MS y grano) por las abundantes lluvias de noviembre y diciembre. Los bajos rendimientos respecto de 17 de Agosto y

Carhué se atribuyeron al escaso nivel relativo de biomasa en antesis que habría determinado menor desarrollo de espigas y partición de fotosintatos a grano.

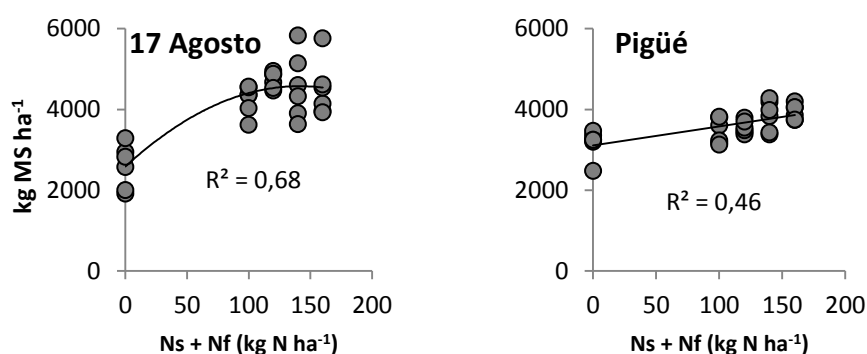


Figura 7. Relación entre el balance de nitrógeno (Ns + Nf) al macollaje y el rendimiento en los sitios con respuesta estadística a la fertilización.

Sin diferencias significativas, en Carhué el rendimiento se incrementó paulatinamente hasta 120N donde se obtuvo el máximo absoluto de todos los sitios. Este sitio respondió a la fertilización en antesis y MS en madurez, pero no en producción de grano. Las escasas relaciones entre biomasa en antesis, madurez y rendimiento en grano, sugieren un posible evento ambiental negativo durante el llenado del grano. Dado que no se reportaron heladas en este sitio, se atribuye a la caída en rendimientos a la alta proporción de días nublados en noviembre (50%) y diciembre (45%), que redujeron la radiación incidente.

Guatraché también mostró incrementos lineales hasta alcanzar el máximo rendimiento con 160N sin diferencias entre niveles. Este sitio respondió a la fertilización en antesis, pero la falta de precipitaciones durante el final del ciclo afectó la respuesta en MS y grano a cosecha. Esto explica la falta de correlación entre biomasa en antesis y biomasa en madurez, biomasa en antesis y rendimiento, así como el alto R^2 entre biomasa en madurez y rendimiento (Tabla 5).

A diferencia de los restantes sitios, El Pincén mostró rendimientos máximos para el testigo y ligeras disminuciones con el aumento del balance de N que se corresponden con las pérdidas de biomasa observadas respecto de antesis. Este sitio no produjo efectos significativos de la fertilización en ninguna etapa del cultivo y solamente mostró correlación entre MS en cosecha y rendimiento en grano.

No se observaron relaciones consistentes entre el rendimiento en grano y la mayor parte de las variables edáficas analizadas. El N disponible y el agua útil del suelo al macollaje explicaron parte de la variación de los rendimientos pero las relaciones no fueron significativas. La variación del contenido de Nan explicó el 40% de la variación de los rendimientos. La Figura 8 muestra, para el balance 120N, relaciones entre el rendimiento y la precipitación acumulada durante dos períodos que explican mejor que otras variables la variación de los rendimientos. Las precipitaciones de septiembre, ocurridas después de la aplicación de la urea y no captadas en el muestreo del suelo, explicaron el 84% de la variación de los rendimientos.

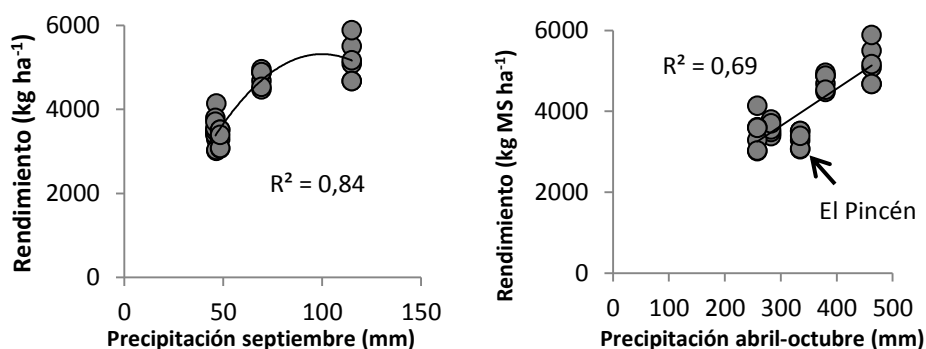


Figura 8. Relación entre el rendimiento en grano y la precipitación acumulada en el mes de septiembre (izq.) y la precipitación acumulada entre abril y octubre (der.), para el balance 120N.

La precipitación durante el período abril-octubre influyó sobre la implantación y desarrollo del cultivo hasta el período crítico para la definición del rendimiento. El ajuste de esta última correlación se vio afectado por la caída en rendimientos en El Pincén, atribuida a efectos ajenos al experimento.

Eficiencia agronómica del uso del fertilizante

Los resultados muestran gran dispersión de valores (Tabla 7): en 17 de Agosto, no existieron diferencias ya que los rendimientos de los tratamientos fertilizados tampoco difirieron estadísticamente entre sí. En ambos casos el valor medio obtenido fue de 23 kg grano kg N aplicado⁻¹, aunque las mejores eficiencias se lograron con 100 y 120N en 17 de Agosto y con 100N en Pigüé considerando que, en este último, se aplicaron 12,4 kg N para lograr este balance. Los valores obtenidos para la presente campaña, se ubican dentro del rango medido para la misma red en campañas anteriores (16-30 kg grano kg N aplicado⁻¹).

Tabla 7. Eficiencia agronómica del uso del fertilizante por sitio y tratamiento, sin fertilización en antesis. Datos expresados en kg grano ha⁻¹ (kg de N agregado)⁻¹. Dentro de cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas dentro de cada sitio (LSD, $\alpha=0,05$).

Nivel de N	17 de Agosto	Pigüé
100N	26,6	46,1 a
120N	28,1	18,5 b
140N	19,5	16,0 b
160N	19,5	13,6 b
p valor	0,304	0,003

Proteína en grano

El análisis multiambiental, mostró interacción triple: sitio x balance de N en macollaje x fertilización foliar en antesis. Esto determinó que cada sitio se analizara por separado. En todos los casos, excepto El Pincén, tanto el balance de N al macollaje como la fertilización en antesis produjeron efectos positivos sobre el nivel de proteína en grano, sin interacción entre ellos.

La Tabla 8 resume los valores medios de proteína obtenidos para los factores balance de N al macollaje y fertilización foliar en antesis. Con la fertilización al macollaje se obtuvieron incrementos de proteína respecto del testigo para 120N en 17 de Agosto y Carhué, 140N en Guatraché y 160N en Pigüé. Sin embargo, desde el punto de vista del valor requerido por el estándar de comercialización (11%), los sitios mostraron respuestas diferentes:

Tabla 8. Contenido de Proteína en grano, expresada en base 13,5% de humedad, para cada sitio y nivel de N. Dentro de cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha=0,05$).

Nivel de N	17 de agosto	Carhué	Guatraché	Pigüé	El Pincén
Testigo	10,2 a	8,4 a	11,2ab	10,5a	10,7
100N	9,9 a	8,8 a	11,9 a	10,3 a	10,2
120N	10,9 b	9,0 ab	11,8 a	10,5 a	10,3
140N	12,0 c	9,6 bc	13,5 b	10,9 ab	10,8
160N	12,3 c	10,1 c	13,7 b	11,5 b	10,0
p-valor _{Trat}	0,0002	0,0006	0,0006	0,036	0,27
0N antesis	10,6	8,9	11,9	10,2	10,0
20N antesis	11,5	9,5	12,9	11,2	10,8
p-valor _{subtrat}	0,0001	0,02	0,0001	0,0001	0,009

- En 17 de Agosto el estándar se alcanzó con 120N al macollaje más 20N en floración o bien con 140N al macollaje solamente, tratamientos que obtuvieron rendimientos de 4800 y 4400 kg ha⁻¹ respectivamente.

- En Carhué, los elevados rindes en grano (4300-5000 kg ha⁻¹) y efectos ambientales dificultaron la obtención de un nivel de proteína adecuado sin que se alcanzara el estándar aún con la combinación del máximo balance de N (160N) con la fertilización en antesis.
- En Pigüé fueron necesarios 140N al macollaje más 20N en antesis, o 160N al macollaje, para lograr el estándar con rendimientos mayores a 3800 kg ha⁻¹. Sin embargo en el testigo, con menores rindes (3300 kg ha⁻¹) no se produjo la dilución de proteína y se logró el estándar cuando se fertilizó en antesis con 20N.
- En Guatraché, sin efectos de la fertilización sobre los rendimientos se lograron contenidos de proteína superiores al estándar, excepto el testigo sin fertilización en antesis, para rindes que oscilaron entre 3200 y 3900 kg ha⁻¹.
- En El Pincén el nivel de proteína en grano no varió significativamente con el balance de N al macollaje y en ningún caso se alcanzó el estándar de comercialización con rendimientos relativamente elevados (3500 a 3900 kg ha⁻¹).

La diferencia media en el contenido de proteína por el agregado tardío de 20 kg N ha⁻¹ (antesis) fue de 0,85% con respecto a los testigos, mostrando una gran variabilidad en la respuesta y siendo levemente superior al incremento medio de la campaña 2017 (0,7%).

Índice verde e índice de suficiencia de N

Los niveles medios de IV tomados en antesis previo a la fertilización foliar oscilaron entre 30 y 47 unidades SPAD. Loewy y Ron (2008) consideran una condición nutricional “moderada” la representada por valores en el rango 37-42 de IV y “provisto” para 43-46. Según esta escala Guatraché estaría provisto en todos los niveles, 17 de Agosto a partir del balance 100N y Carhué, Pigüé y El Pincén quedarían por debajo del valor crítico.

Dado que el IV puede ser afectado por el cultivar, la disponibilidad de agua y de otros nutrientes entre otros factores, no se recomienda la utilización de estos valores absolutos. En cambio, la normalización de los datos en relación con el máximo de cada sitio (ISN) determina una mayor capacidad predictiva. Los valores resultantes se muestran en la Tabla 9. Se considera que un cultivo tiene una buena nutrición nitrogenada cuando el ISN es mayor a 0,95 (Fertilab, 2015). Este valor crítico se alcanzó con 160N en 17 de Agosto y Pigüé y en tres de los niveles de Guatraché. En los restantes la biomasa en antesis no contaría con suficiente N para abastecer incrementos de rendimiento y calidad simultáneamente.

Tabla 9. Valores del índice de suficiencia de N (ISN) para los sitios estudiados. Las celdas sombreadas indican valores iguales o mayores al ISN crítico (0,95).

Balance N	17 de Agosto				
	Carhué	Guatraché	Pigüé	El Pincén	
	----- ISN -----				
Testigo	0,77	0,76	0,97	0,90	0,84
100N	0,93	0,83	0,92	0,90	0,81
120N	0,93	0,83	0,92	0,90	0,85
140N	0,93	0,87	0,96	0,94	0,89
160N	0,95	0,94	0,95	0,96	0,82

La relación entre el contenido de proteína en grano y los valores de ISN en antesis resultó baja (R²<0,5). Según Gandrup et al. (2004), cuando existe suficiente N disponible en el suelo durante la etapa antesis-madurez, es posible que parte del N de la proteína sea absorbido durante esta etapa y no derive de la removilización desde hojas y tallos. Esto podría coincidir con el contenido relativamente elevado de N_{DA} observado en todos los sitios (Tabla 2). Aun así, comparando los valores de IV e ISN con los resultados de proteína en grano de la Tabla 8, se observa que IV sobreestimó la suficiencia de N para 100 y 120N en 17 de Agosto y ambos índices predijeron la suficiencia en Guatraché (excepto 100 y 120N con ISN). En 17 de Agosto y Pigüé los balances 160N alcanzaron el estándar comercial. En Carhué y El Pincén el ISN no alcanzó el valor crítico y, coincidentemente el contenido de proteína resultó menor al requerido por el estándar.

Los resultados coinciden con los observados en otros estudios en la región y muestran que la utilización del valor ISN en antesis permite diagnosticar la necesidad de la fertilización foliar para alcanzar niveles aceptables de calidad comercial en grano. El método reviste, sin embargo, una cierta imprecisión. Además de la variabilidad relativamente elevada en el contenido de clorofila de las hojas del cultivo, las condiciones ambientales en la etapa antesis-madurez fisiológica pueden alterar el rendimiento con efectos de concentración o dilución de la proteína.

Conclusiones

Bajo condiciones ambientales en general favorables durante la campaña 2018, la fertilización nitrogenada incrementó los rendimientos y el contenido de proteína del grano de trigo. Las respuestas variaron según las características y la precipitación recibida en cada sitio de estudio destacándose la precipitación acumulada en septiembre y la del período abril-octubre como factores de influencia sobre los rendimientos.

A causa de la precipitación, las variables de suelo no resultaron determinantes en la definición de respuestas, aunque se observaron efectos relativamente importantes del contenido de N en la biomasa en antesis y el rendimiento.

La fertilización al macollaje incrementó los rendimientos en 17 de Agosto y Pigüé. Aunque sin significancia estadística también respondieron Carhué y Guatraché. El Pincén, con problemas externos a las variables del experimento no mostró respuestas consistentes. Desde el punto de vista de los rendimientos el balance con mejor respuesta en todos los sitios fue 120N.

La fertilización foliar en floración no modificó los rendimientos pero, excepto en El Pincén, incrementó el contenido de proteína en grano en todos los sitios. Este incremento no garantizó valores acordes con el estándar de comercialización en todos ellos ya que la variación de los rendimientos produjo efectos de dilución o concentración de la proteína.

La medición del IV en antesis y su transformación en ISN permitió detectar la necesidad de fertilización foliar en esa etapa a fin de asegurar mayores contenidos de proteína en grano. El balance rendimiento-calidad determinó que este contenido alcanzara o no el estándar de comercialización.

Referencias

- Bolsa de Cereales de Bahía Blanca. 2019. Reporte agrícola quincenal- Enero 2019. Web: <http://info.bcp.org.ar/ArchivosPublicados/www.bcp.org.ar/InformesAgricolas/2019/RAQ%2016%20Cierre%20Cosecha%20Trigo.pdf>
- DI RIENZO, J.A., CASANOVES F., BALZARINI, M. G., GONZÁLEZ L., TABLADA M & ROBLEDO C. W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- FERTILAB, Laboratorio de Suelos. 2015. Resultados de monitoreo con spad en trigo y cebada. En: http://www.laboratoriofertilab.com.ar/Paginas/Newsletters/Comunicacion_tecnica_2015_4.pdf
- GANDRUP, M; GARCIA F., FABRIZZI K., ECHEVERRIA H. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. RIA (en línea), 33 (3): 105-121. En: <https://www.redalyc.org/html/864/86433307/>
- Krüger H. 2015. Secuencias de cultivos con trigo para el ambiente semiárido bonaerense: rendimientos y efectos sobre el suelo. INTA Ediciones, Colección Investigación, Desarrollo e Innovación
- Loewy T. y M.M. Ron. 2008. Fertilización nitro-azufrada, expresión del índice de verdor y rendimiento del nitrógeno en trigo. En: VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa (La Pampa) Argentina.
- R CORE TEAM (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Dirección Nacional de Análisis Económico Agroindustrial - Dirección de Estimaciones Agrícolas. 2019. En: <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>