



Respuesta a la aplicación de YaraBela NITRODOBLE (Yara Argentina S.A.) en el cultivo de Trigo

INFORME FINAL **Convenio AACREA-YARA 2015/18**

Comentarios iniciales

Este informe resume los resultados principales de los 3 años de la red experimental de fertilización en el cultivo de trigo en el marco del convenio AACREA-YARA 2015/2018. Se divide en dos secciones principales. En la primera sección se describen aspectos generales del proyecto y se resumen parte de los resultados obtenidos en el tercer año de la red de experimentación (campaña 2017/18). Se destacan los puntos más relevantes en comparación con las campañas anteriores. En la segunda sección, se presentan los resultados integrados para los 3 años de la red experimental.

Introducción

Luego del agua, el nitrógeno es uno de los principales factores limitantes del rendimiento de trigo en las principales regiones productivas de Argentina. La respuesta a la fertilización nitrogenada en este cultivo ha sido fuertemente estudiada, y hoy el agregado de este nutriente constituye una práctica habitual en la búsqueda de mejorar la productividad y calidad de grano. Varias fuentes y formulaciones de fertilizantes nitrogenados se utilizan y

comercializan en el país. Sin embargo, en los cultivos extensivos unas pocas formulaciones son usadas en la mayor parte del área. Estas comprenden, forma líquidas (mayormente UAN y Solmix) y sólidas (mayormente UREA granulada). Una amplia variedad de mezclas físicas han sido introducidas en los últimos años atendiendo a ampliar el espectro de nutrientes que es cubierto por la fertilización y en algunos casos, mejorar la eficiencia de uso del fertilizante. YaraBela nitrodoble es una formulación de fertilizante nitrogenado a base de nitrato de amonio calcáreo-magnésico (27:00:00; 4% OMg y 6% Ca) que introduce nitrógeno en forma de amonio y nitrato. La presencia de fracciones amídicas y nítricas en la formulación podrían proveer al fertilizante un comportamiento diferencial respecto a otras fuentes y, una mayor respuesta del cultivo al agregado de unidades equivalentes de nutrientes. Sin embargo, los resultados que apoyan esta hipótesis en nuestras regiones productivas son aún escasos y, en ocasiones, contradictorios. Por ello, este trabajo propone generar información que permita cuantificar y comprender las diferencias en el comportamiento de las fuentes estudiadas (YaraBela Nitrodoble y Urea), haciendo hincapié en las eficiencias de respuesta a la fertilización.

Objetivos generales

Los objetivos de este trabajo son (1) cuantificar la respuesta física a la fertilización, según fuentes y niveles de disponibilidad de Nitrógeno alcanzado, asociándola a características de manejo y ambiente; y (2) cuantificar el impacto sobre parámetros de calidad del grano de trigo.

Metodología

Se estableció una red experimental del cultivo de TRIGO a lo largo de 3 campañas consecutivas (2015/2016, 2016/2017 y 2017/2018) en **38** localidades que abarcaron buena parte de las regiones productivas de Argentina. Se llevaron a cabo un total de **45** ensayos finales con **540** unidades experimentales (Tabla 1).

En la última campaña participaron 8 regiones del movimiento CREA con un total de **150 unidades experimentales**, distribuidas en **11 sitios**.

Tabla 1. Base de datos generada por la red de experimentación de trigo en 3 campañas. Los sitios corresponden a localidades y las unidades experimentales a las parcelas cosechadas.

Campaña	sitios	Un. Exp
2015	26	300
2016	8	90
2017	11	150
Total	45	540

El diseño experimental utilizado los 3 años fue el mismo y consistió en un Diseño en Bloques Completamente aleatorizado (DBCA), con 2 bloques, que se utilizaron como repeticiones para realizar los análisis. Se aplicaron 5 tratamientos a las unidades experimentales:

- **T1:** Testigo (sin aplicación de fertilizante nitrogenado)
- **T2:** Urea 1 *
- **T3:** Urea 2 **
- **T4:** Nitrodoble 1 *
- **T5:** Nitrodoble 2 **

* la dosis de fertilizante empleada permitió alcanzar entre 100 y 120 kg/ha de N suelo 0-60 cm + fertilizante.

** la dosis de fertilizante empleada permitió alcanzar entre 140 y 160 kg/ha de N suelo 0-60 cm + fertilizante.

Las dosis de fertilizantes se manejaron de modo de aplicar la misma cantidad de unidades de Nitrógeno elemento.

En la campaña 2017/2018 se agregó en algunos sitios (3) un tratamiento orientado a mejorar la calidad del grano de trigo. Los tratamientos,

denominados N3, tuvieron el mismo manejo que en el caso de N2 (tanto con Urea como con Nitrodoble), pero se adicionó un tratamiento de fertilización foliar en espigazón, con "YARA VITA Last N" a una dosis de 30 litros/ha.

Cada parcela o unidad experimental tuvo un ancho proporcional a la sembradora utilizada y entre 200 y 250 metros de longitud. En los distintos experimentos el fertilizante fue aplicado en superficie. En todos los sitios se realizó una fertilización de base con fósforo para minimizar la posible limitación de este nutriente. El manejo del cultivo en cuanto a la elección de la variedad, fecha de siembra y protección se correspondió con un manejo representativo en cada uno de las regiones involucradas.

Determinaciones

En todos los sitios cada año:

- Se realizó análisis de suelo a la siembra (0-60 cm) para la determinación de las condiciones iniciales, incluyéndose la determinación de MO, pH, P extractable; S, N-NO₃, Bo, Zn, CIC, CE, Na, Mg, K, Ca y Nam.
- Se tomaron muestras de 30 hojas bandera y se determinó concentración de nutrientes en tejido (N, P, S, Ca, Mg)
- Las parcelas se cosecharon mecánicamente para la determinación de rendimiento a humedad comercial.
- Se tomaron muestras de grano para la determinación de parámetros de calidad: porcentaje de proteína y peso hectolítrico

En algunos sitios:

- Se midieron y registraron características particulares de manejo y ambiente como fecha de siembra, densidad, protección, precipitaciones, sistema de labranza, tipo de suelo y antecesor.

Caracterización general de los resultados y su análisis estadístico:

Cada campaña se realizó una descripción general de la variabilidad ambiental explorada de los sitios y tratamientos. Posteriormente, para evaluar estadísticamente los resultados se realizaron análisis de varianza (ANOVA). Además, se llevaron a cabo análisis de regresión lineal simple y de correlaciones con el objetivo de analizar la asociación entre las respuestas encontradas a la fertilización (en términos de eficiencia) y las distintas variables del ambiente y del cultivo medidas.

Se analizó el impacto de la fertilización sobre la productividad de cada sitio. Para ello, las variables que se consideraron fueron el rendimiento por unidad de superficie (para cada tratamiento, promedio y máximo de cada sitio) y la eficiencia de respuesta a la fertilización para cada fuente de fertilizante. Se calcularon tres tipos de eficiencia: una eficiencia media o general; una eficiencia a baja disponibilidad de nitrógeno y una eficiencia a alto nivel de nitrógeno (cuadro1):

<i>Para cada fertilizante:</i>	
Eficiencia media:	$\frac{\text{Rto N2} - \text{Rto Testigo}}{\text{N aplicado N2}}$
Eficiencia a Bajo N:	$\frac{\text{Rto N1} - \text{Rto Testigo}}{\text{N aplicado N1}}$
Eficiencia a Alto N:	$\frac{\text{Rto N2} - \text{Rto N1}}{\text{N2} - \text{N1}}$

Cuadro 1. Fórmulas de cálculo de las distintas formas de eficiencia calculada. **Rto N2:** Rendimiento a la mayor dosis de fertilizante; **Rto N1:** Rendimiento a la menor dosis de fertilizante; **Rto Testigo:** Rendimiento del testigo sin fertilizar.

En una segunda instancia, se evaluó la relación entre las distintas eficiencias calculadas y algunos parámetros del ambiente edáfico de cada sitio. Finalmente, se realizó una caracterización general del efecto de la fertilización sobre la calidad del cultivo de trigo, evaluando el efecto de los tratamientos sobre el contenido de gluten y proteína en grano.

1-Resultados de la campaña 2017/18 y su comparación con campañas anteriores

Variabilidad ambiental de la campaña

El rango ambiental explorado en el tercer año de experimentación, al igual que las campañas anteriores, fue muy amplio (Figura 1a). Esto se reflejó en los diversos niveles de productividad explorados en los sitios que formaron parte de esta red de ensayos (Figura 1b). El rendimiento medio general de la red en 2017/18 fue de **4541 kg/ha** con casos de rendimiento máximo de **8253 kg/ha**. Los mayores niveles de rendimiento medio se observaron en los sitios del sur y norte de Buenos Aires (regiones CREA Sudeste, Oeste, Norte de Buenos Aires). En el norte de Santa Fe, norte de Córdoba y Entre Ríos se observaron los menores niveles de productividad. El máximo rendimiento promedio de todos los tratamientos se observó en Madariaga (Sudeste de Buenos Aires) con **6770 kg/ha** y el mínimo en Victoria (Entre Ríos), con 2827 kg/ha.

La información generada durante la campaña 2017/18 muestra una buena performance del cultivo con rendimientos medios elevados y con pisos de rendimientos más altos que en campañas anteriores. A su vez, se observó un amplio rango de variabilidad de rendimientos (más de 5400 kg/ha), siendo esto último muy relevante y apropiado para el estudio del impacto de la tecnología de fertilización.

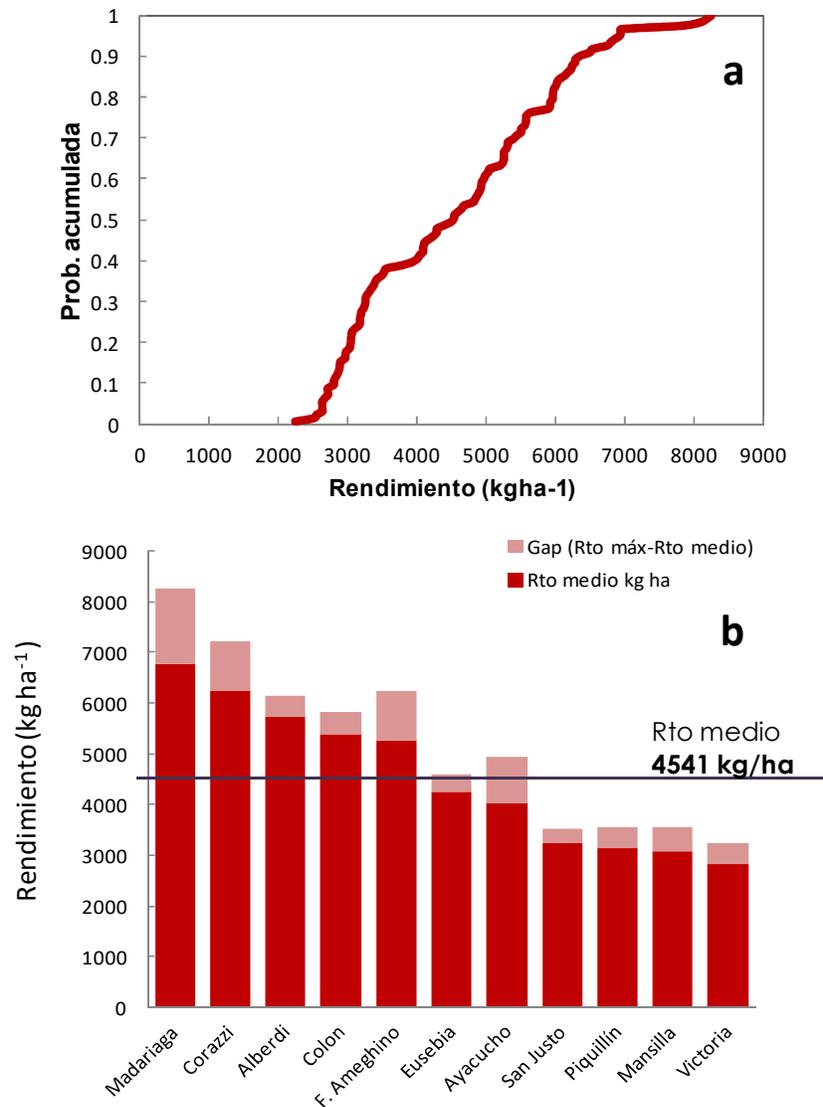


Figura 1. Probabilidad acumulada de rendimientos de trigo (kg/ha⁻¹) durante el tercer año de experimentación (campaña 2017/18) (a). Rendimiento medio y máximo de los tratamientos en cada uno de los sitios de la red de experimentación (b).

Al analizar la distribución de resultados de rendimiento para cada tratamiento, se observa claramente que los niveles de rendimiento de los tratamientos sin fertilizar (Testigo) son inferiores a los tratamientos con fertilización en todo el rango estudiado (Figura 2). Asimismo, los tratamientos

con mayor dosis de fertilización (Nitrodoble 2 y Urea 2), muestran mayores niveles de rendimiento que los tratamientos con menor dosis de fertilización (Nitrodoble1 y Urea 1). Estas tendencias fueron consistentes en los tres años de experimentación (figura 3). Para confirmar dichas tendencias se realizó el análisis de la varianza de los resultados (Tablas 2 y 3).

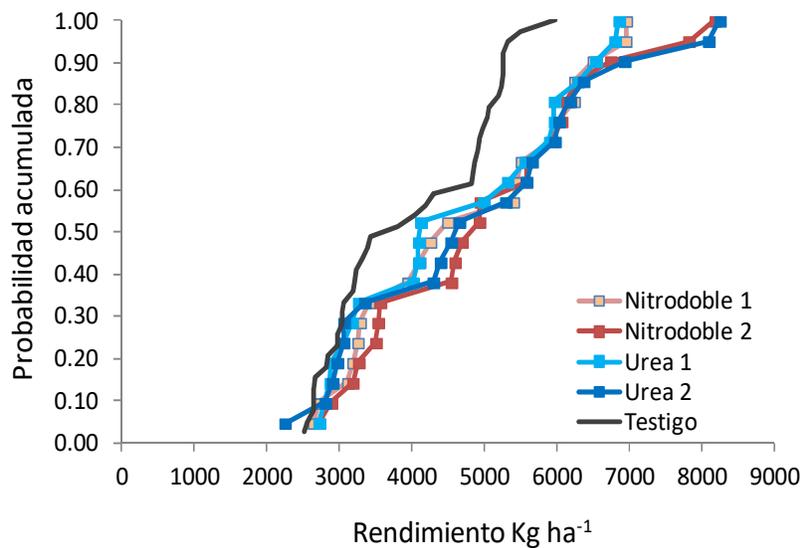


Figura 2. Distribución de rendimientos por tratamiento para todo sitios de la campaña 2017/18.

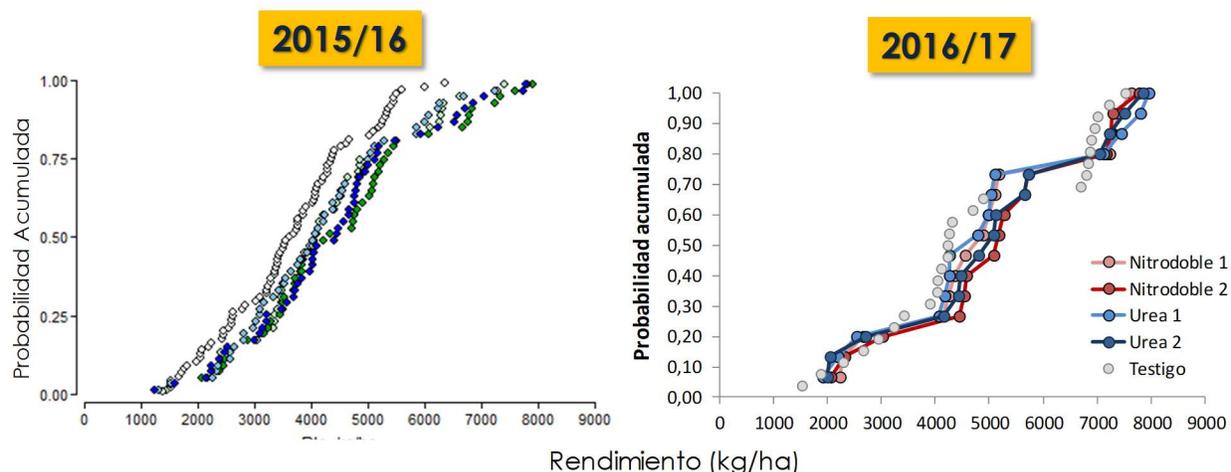


Figura 3. Distribución de rendimientos (probabilidad acumulada) por tratamiento en las campañas 2015/16 y 2016/17.

Análisis de Varianza de rendimiento (ANOVA)

Este análisis evidenció diferencias de rendimiento entre sitios ($p < 0,0001$), y entre tratamientos ($p < 0,0001$), aunque también permitió detectar un efecto de la interacción Localidad x Tratamiento ($p < 0,0001$) (Tabla 2). La interacción significativa encontrada sugiere que el efecto de los tratamientos, es diferente dependiendo del sitio. Entonces es necesario contrastar las diferencias en las respuestas encontradas con las condiciones de cada sitio. Estos resultados fueron consistentes a lo largo de los tres años de experimentación (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del ANOVA del rendimiento para las tres campañas.

Campañas	2017	2016	2015
F.V	P- valor	P- valor	P- valor
Localidad	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Localidad*Tratamiento	<0,0001	0,0016	<0,0001

Las diferencias de rendimiento generadas con los tratamientos fueron de 772 kg/ha en el promedio de las fuentes en el caso de la menor dosis respecto

al testigo sin fertilizar (diferencias significativas ($p < 0,0001$), y de 194 kg/ha comparando los rendimientos obtenidos con la mayor dosis de nitrógeno, respecto a la dosis menor, también para el promedio de las fuentes (Tabla 3).

Al comparar entre fuentes para una misma dosis, el rendimiento obtenido con Nitrodoble fue apenas superior, aunque las diferencias no resultaron significativas. Estos resultados fueron consistentes en las tres campañas analizadas (Tabla 4).

Tabla 3. Comparación de medias de rendimiento para el promedio de los sitios. Campaña 2017/18.

Tratamiento	Rto (Kg/ha)
Nitrodoble 2	4991 ab
Urea 2	4892 ab
Nitrodoble 1	4747 bc
Urea 1	4639 c
Testigo	3921 d

Fisher Alfa=0,05 DMS=207,89

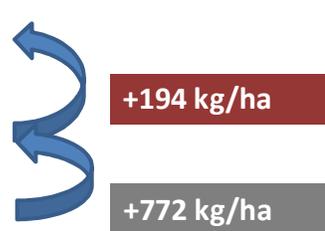


Tabla 4. Comparación de medias de rendimiento para el promedio de los sitios campañas 2015/16 y 2016/17.

2015/16	
Tratamiento	Rto (kg/ha)
Nitrodoble 2	4424 a
Urea 2	4350 a
Nitrodoble 1	4180 b
Urea 1	4145 b
Testigo	3683 c

Tukey Alfa=0.05 DMS: 164.9

2016/17	
Tratamiento	Rto (kg/ha)
Nitrodoble 2	5156 a
Urea 2	5053 ab
Nitrodoble 1	4946 b
Urea 1	4908 b
Testigo	4382 b

Fisher Alfa=0.05 DMS: 172.3



A lo largo de los tres años las diferencias del tratamiento fertilizado (dosis mínima) vs el testigo se mantuvo consistente y fue en promedio de 600 (Kg/ha). De la misma manera, la diferencia entre dosis mínima y máxima también fue similar entre años, con un promedio de 200 (kg/ha).

Análisis de Varianza incluyendo tratamiento "Last N". **Calidad**

En dos de las tres campañas se evaluó el efecto de una aplicación adicional de nitrógeno (tratamiento "Last N") sobre la calidad del grano de trigo. En la campaña 2016/17 se evaluaron 2 sitios en la zona Norte de Buenos Aires y en la última campaña el análisis con Last N se llevó a cabo en 3 sitios (2 en Norte de Buenos Aires y 1 en Sudeste).

El análisis de varianza mostró efecto del Tratamiento y del sitio ($p < 0.0001$) (tabla 5) al igual que en la campaña anterior, sin embargo no fueron significativas las interacciones entre ellos, como si lo fueron en la campaña 2016.

Tabla 5. Resultados del ANOVA del rendimiento, campaña 2017/18. Set de datos que evalúa tratamiento Last N (3 localidades).

F.V	P- valor
Localidad	<0,0001
Tratamiento	<0,0001
Localidad*Tratamiento	0,4391

Considerando solo los sitios mencionados, las diferencias de rendimiento generadas con los tratamientos fertilizados respecto del testigo sin fertilizar fueron de 800 kg/ha en el promedio de fuentes y dosis (**Tabla 6**). Siendo esta la única diferencia significativa ($p < 0,0001$). Los tratamientos fertilizados no difirieron entre sí para la variable rendimiento. En cambio, en la campaña anterior (2016/17) el tratamiento Last N se asemejó a los tratamientos con altas dosis de N diferenciándose significativamente de los tratamientos con dosis bajas ($p < 0,0001$) (**Tabla 6**).

Tabla 6. Comparación de medias de rendimiento por tratamiento para el set de datos que evalúa tratamiento Last N en la campaña 2017/18 y 2016/17.

Tratamiento	Rto Kg/ha	
Urea 2	6094	a
Nitrodoble 2	6049	a
Last N	5981	a
Nitrodoble 1	5946	a
Urea 1	5935	a
Testigo	5106	b

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=309,03764

Comparación de Medias

2016/17

Tratamiento	Rto (Kg/ha)	
Urea 2	6526	A
Last N	6520	A
Nitrodoble 2	6457	A
Nitrodoble 1	6196	B
Urea 1	6173	B
Testigo	5508	C

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=163,5

Dentro de los parámetros de calidad, se evidenciaron efectos del tratamiento y el sitio sobre el nivel de proteína en grano (Tabla 7).

El porcentaje de proteína alcanzado con el tratamiento Last N fue el más alto (10,58%) difiriendo significativamente del tratamiento testigo y los tratamientos de menor dosis de N, pero sin diferencias significativas respecto a los niveles obtenidos con la mayor dosis de N (tabla 7).

Las diferencias en proteína entre el testigo y las dosis más bajas de fertilización fueron de 0.6% para el promedio de las fuentes.

Tabla 7. Comparación de medias de Proteína en grano (%) por tratamiento en la campaña 2017/18. Set de datos que evalúa tratamiento Last N.

Tratamiento	% Proteína
Last N	10,58 a
Nitrodoble 2	10,35 a
Urea 2	10,1 ab
Urea 1	9,68 b
Nitrodoble 1	9,63 b
Testigo	9,05 c

Comparación de eficiencias

Al analizar la eficiencia de respuesta a la fertilización para ambas fuentes, se encontró una asociación positiva con el rendimiento medio (**Figura 4**). Este año la asociación fue menos clara y con mayor variabilidad que en años anteriores, pero la tendencia fue la misma en las 3 campañas analizadas, es decir, las eficiencias de uso del fertilizante fueron mayores al incrementarse la calidad del ambiente medida a través de la productividad del sitio.

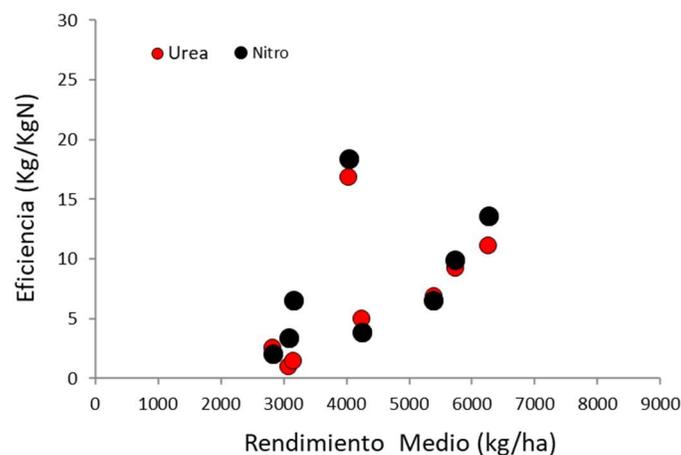


Figura 4. Eficiencia media de respuesta a la fertilización según rinde medio del sitio.

Por otra parte, no se observaron asociaciones fuertes entre la eficiencia media de respuesta y el nivel de N del suelo sin fertilización, ni con la materia orgánica del suelo (Figura 5). En el primer año de experimentación se encontró una asociación fuerte entre la eficiencia media y el zinc del suelo, relación que no se consolidó en las dos siguientes campañas.

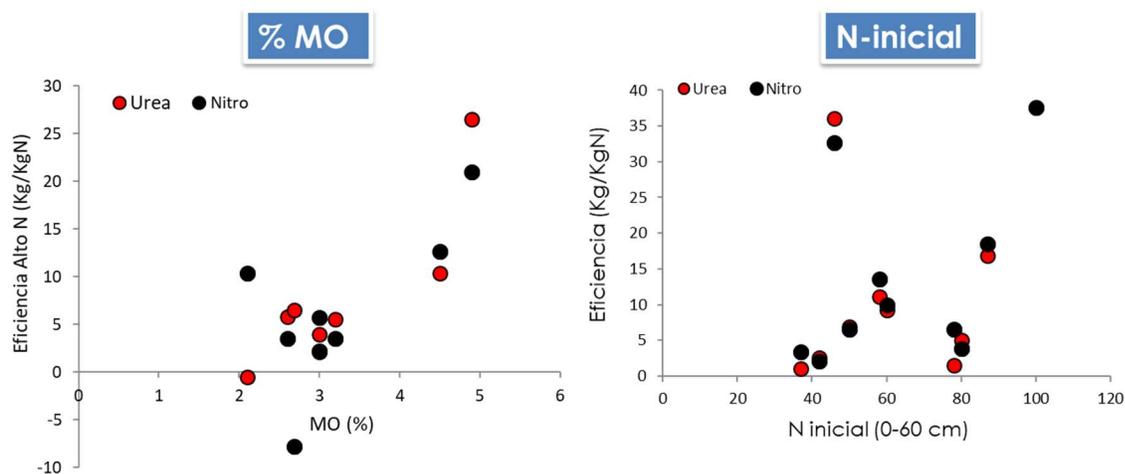


Figura 5. Eficiencia media de respuesta a la fertilización para Nitrodoble y Urea según MO y N del suelo.

Se estudió la asociación con muchas variables de suelo, pero en ningún caso se encontró una asociación consistente y que se repita entre las campañas analizadas.

Al comparar las eficiencias calculadas según la fuente utilizada solo en los sitios con respuesta a la fertilización se observó un amplio rango de eficiencias para ambas fuentes (Tabla 8).

Tabla 8. Eficiencias calculadas en los sitios con respuesta para cada una de las fuentes utilizadas durante campaña 2017/18.

Sitio	Ef. General		Ef. Bajo N		Ef. Alto N	
	Urea	Nitro	Urea	Nitro	Urea	Nitro
Alberdi	9,2	10,0	12,2	12,5	2,1	2,2
Ayacucho	16,9	18,4	27,1	27,8	10,4	12,6
Colón	6,9	6,5	7,5	7,7	5,6	3,5
Corazzi	11,2	13,6	15,3	21,3	5,8	3,5
Victoria	2,6	2,1	2,1	1,4	3,4	3,1

*Se eliminó Madariaga con eficiencias muy altas.

La eficiencia a bajo N fue mayor cuando se utilizó Nitrodoble como fuente de fertilización, resultado consistente en los 3 años. En la última

campaña la eficiencia a bajos niveles de disponibilidad de nitrógeno tomó valores de **12,8 kg/kg N** para el caso de la Urea y de **14,1 kg/kg N** para el caso de Nitrodoble (tabla 9).

Tabla 9 . Eficiencias promedio de sitios con respuesta para cada una de las fuentes utilizada. Campaña 2017/18.

Eficiencias (kg trigo/kgN)	UREA		Nitrodoble	
	Prom.	sd	Prom.	sd
Ef. General	9,4	5,3	10,1	10,1
Ef. Bajo N	12,8	9,4	14,1	10,5
Ef. Alto N	5,5	3,2	5,0	4,3

En la última campaña **la eficiencia gral** o media estuvo en el orden de los 9.4 Kg/kg N para el caso de la Urea y de 10.1 kg/kg N para el caso de Nitrodoble (Tabla 9). Esta mayor eficiencia general podría asociarse a las mejores respuestas a bajos niveles de disponibilidad de N anteriormente mencionados.

En el caso de la respuesta a **altos niveles de fertilización**, las magnitudes promedios son menores, en el orden de los **5.5 kg/kg N** para Urea y **5 kg/kg N** para Nitrodoble. Estos resultados se asemejan a los del primer año también con diferencias muy pequeñas entre fuentes (10 vs 9,9) y difieren de la campaña pasada (2016/17), en la cual la eficiencia a alto N fue considerablemente mayor con Nitrodoble (14,1 vs 11,2 kg/kgN).

En resumen, las mayores diferencias absolutas se dieron a bajos niveles de Nitrogeno y sólo en 1 de los 3 años (2016) Nitrodoble supera a Urea en altas disponibilidades de N.

Tabla 10 Eficiencias por año y por fuente para campañas anteriores.

Año	Fuente	Ef. Gral		Ef. Bajo N		Ef. Alto N	
		Prom	CV%	Prom	CV%	Prom	CV%
2015	Nitro	11,2	65	17,7	83	9,9	67
	Urea	8,3	77	15,8	71	10,0	73
2016	Nitro	11,6	52	18,1	42	14,1	74
	Urea	10,5	53	19,3	72	11,2	50

Calidad de grano

Proteína:

Se encontró una fuerte variación en el porcentaje de proteína del grano, como consecuencia de la variabilidad de condiciones exploradas en la red experimenta (Figura 6).

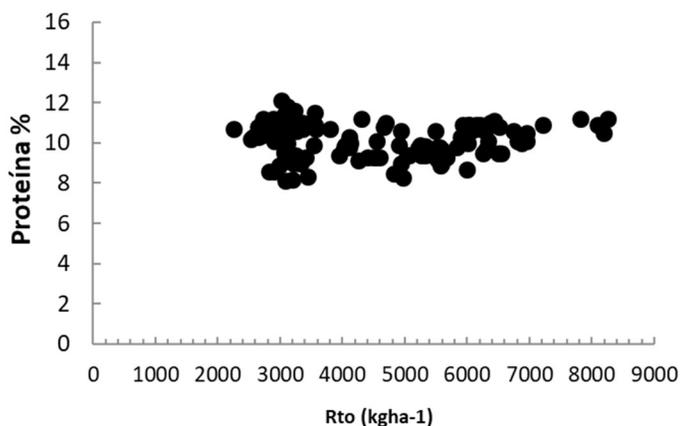


Figura 6. Porcentaje de proteína y rendimiento medio del sitio.

El análisis de varianza permitió detectar el efecto no solo de los tratamientos, sino también del sitio, e interacción sitio x tratamiento ($P=0,0002$), es decir, que el efecto del tratamiento sobre el porcentaje de proteína fue dependiente del sitio analizado (Tabla 11), resultados que fueron consistentes con los encontrados en campañas anteriores.

Tabla 11. Anva proteína campaña 2017/18.

ANVA	
FV	Valor -P
sitio	<0,0001
Tratamiento	<0,0001
sitio*Tratamiento	0,0002

Los valores de proteína alcanzados con las mayores dosis de fertilización fueron los más altos y estuvieron en el orden del 10.43% en el promedio de las fuentes. Si bien el tratamiento con Nitrodoble mostró valores levemente superiores a urea estos no fueron significativos (tabla 12). Los valores de proteína alcanzados con la mayor dosis de fertilización resultaron en una diferencia de medio punto de proteína respecto al promedio logrado con las dosis de fertilización menores y un punto por encima del testigo sin fertilización.

Ninguno de los tratamientos superó el **estándar de 11%** de proteína en grano, lo cual evidencia la problemática de calidad de grano que muchas veces se da con distintas variedades y en distintas zonas de producción. Es importante pensar entonces en estrategias de manejo que permitan mejorar estos parámetros de calidad.

Tabla 12. Porcentaje de proteína promedio de tratamientos en dos campañas 2017/18 Y 2015/16.

Comparación de Medias		Comparación de medias		2015/16
Tratamiento	% Proteína	Trat	Proteína	
Nitrodoble 2	10,47 a	Nitro 2	10.94	a
Urea 2	10,39 a	Urea 2	10.66	a
Urea 1	9,9 b	Nitro 1	10.23	b
Nitrodoble 1	9,89 b	Testigo	10.18	b
Testigo	9,49 c	Urea 1	10.17	b

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,30600 Tukey Alfa=0.05 DMS: 0.33

En el contexto de esta red experimental, los tratamientos de fertilización con la mayor dosis de nitrógeno, permitieron elevar el contenido de proteína y acercarlo a valores no penalizables en el caso de Nitrodoble principalmente, aunque sin diferencias estadísticas entre fuentes (Tabla 12).

El tratamiento adicional de fertilización foliar en espigazón, con YARA VITA Last N a una dosis de 30 litros/ha, no mostró diferencias significativas con las dosis más altas de fertilización evaluadas tanto para urea como para nitrodoble (ver arriba).

Gluten:

Finalmente, se evaluó el contenido de gluten sin encontrar fuertes relaciones entre este parámetro y el rendimiento medio del sitio (figura 7). En cuanto al efecto de los tratamientos, las mayores dosis de N fueron las que resultaron en mayores niveles de glúten, aunque sin diferencias significativas entre fuentes, similar a lo ocurrido con los niveles de proteína.

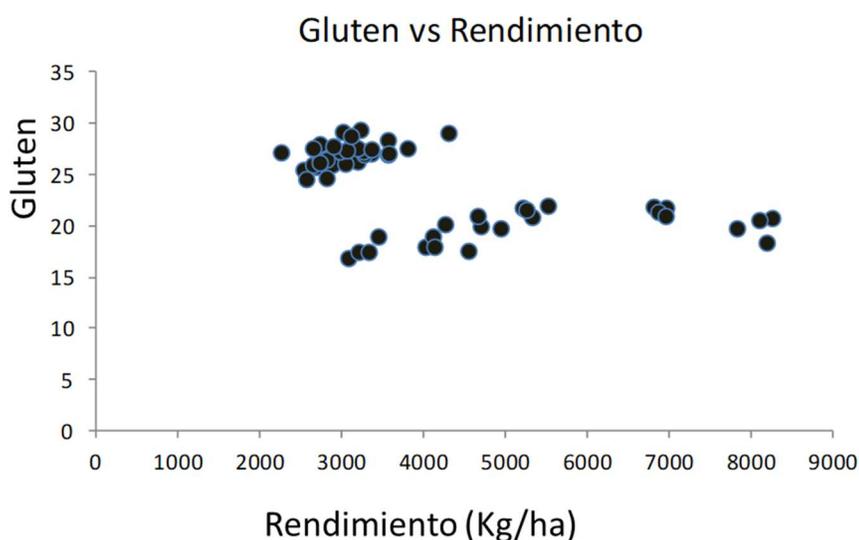


Figura 7. Contenido de gluten y rendimiento medio del sitio.

2- Síntesis de Resultados integrados de 3 años de experimentación

De aquí en adelante se presentan los resultados integrados de las 3 campañas en las que se llevó adelante la red de experimentación de trigo.

Variabilidad ambiental total

A lo largo de los 3 años de experimentación, el cultivo de trigo exploró una gran variabilidad ambiental (Figura 8). Los rendimientos medios de los sitios pertenecientes a la red variaron entre **7394 kg/ha** y **1449 kg/ha** con un rendimiento medio de **4196 kg/ha** y un desvío estándar (SD) de **494 kg/ha**.

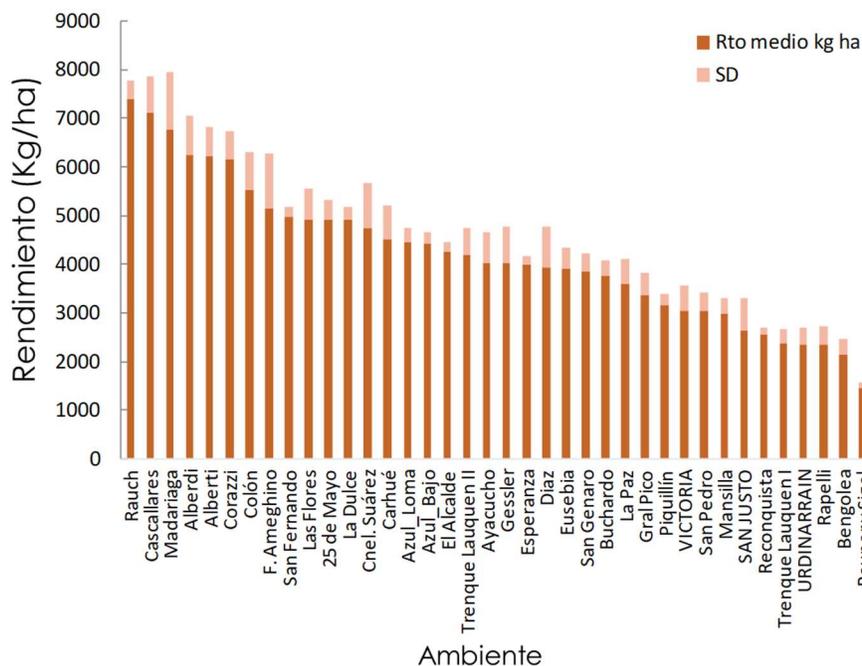


Figura 8. Rendimientos medios (Kg/ha) por ambiente (Localidad) considerando las tres campañas. Se presenta el desvío estandar por sitio (SD).

Nuevamente la variabilidad de resultados obtenidos responde no solo a gradientes conocidos como nivel de precipitaciones, temperatura, etc., sino también a características propias de cada sitio consecuencia de la historia previa, y a la fuerte influencia del clima de la campaña analizada. Esto último podría ponerse en evidencia en la **figura 9 y tabla 13** donde se presenta la distribución de rendimientos por campaña.

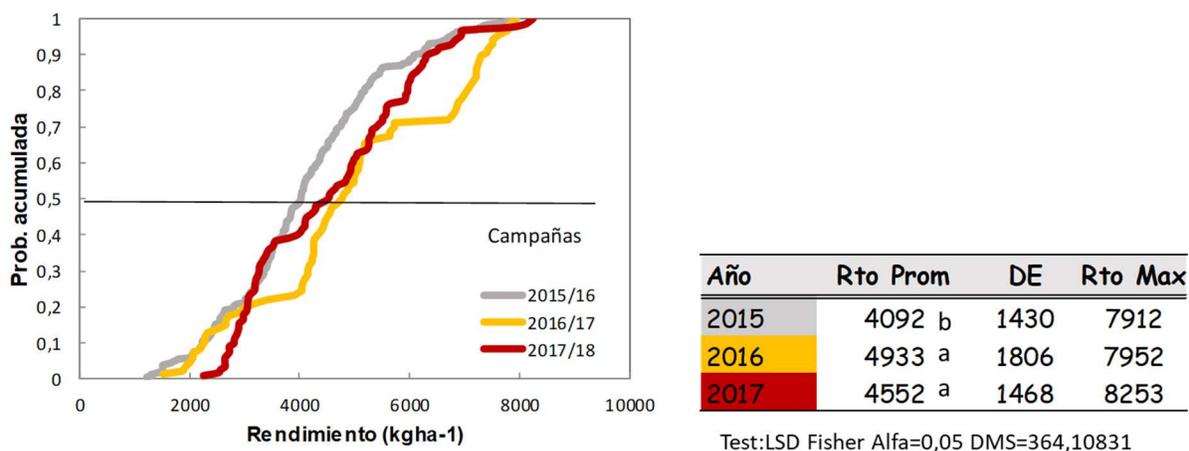


Figura 9. Distribución empírica de rendimientos por campaña.

Tabla 13. Estadística descriptiva por campaña. Se presentan los valores medios (Rto Prom) y sus diferencias significativas, desvío estándar (DE) y rendimientos máximos en kg/ha.

Las dos últimas campañas tuvieron los mayores niveles de productividad ($p < 0.0001$) siendo los valores máximos similares entre campañas (Tabla 13). La campaña 2015/16 fue la de rendimiento medio menor, pero con mayor variabilidad. En el conjunto de los 3 años el cultivo exploró una amplia variabilidad de condiciones ambientales resultando adecuada para la evaluación de este tipo de tecnologías.

Se realizaron distintos análisis de la varianza integrando los 3 años experimentales. El sitio y el tratamiento tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo de trigo ($p < 0.0001$; $p = 0.008$) para el promedio de los años y las localidades.

Al igual que en los análisis de años particulares las mayores dosis de fertilización (Nitro2; Urea 2) fueron las que generaron los mayores rendimientos no siendo significativas las diferencias entre fuentes (Figura 10). Nuevamente las mayores diferencias se dieron entre el tratamiento sin fertilizar y las dosis más bajas de fertilización.

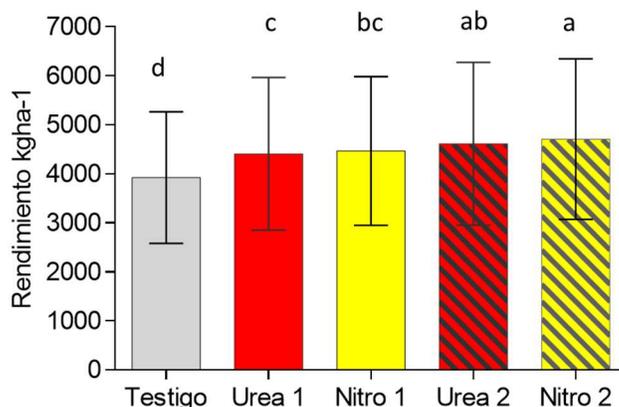


Figura 10. Rendimiento medio por tratamiento para el promedio de los 3 años y sitios. Letras distintas muestran las diferencias significativas.

Análisis de Varianza de rendimiento (ANOVA)- Evaluación del efecto ambiente.

Para este análisis particular de la varianza se construyó una nueva variable denominada “ambiente” que resultó de la integración de la localidad y el año.

Este segundo análisis mostró nuevamente evidencias de las diferencias de rendimiento entre tratamientos ($p < 0,0001$) y entre ambientes ($p < 0,0001$); y permitió detectar un efecto de la interacción ambiente x Tratamiento ($p < 0,0001$) (Tabla 14). Esta interacción significativa encontrada sugiere que el efecto de los tratamientos, es diferente dependiendo del ambiente en el que se evalúen, incluyendo la variabilidad climática interanual.

Tabla 14. Análisis de la varianza para rendimiento evaluando el efecto del ambiente.

FV	p-valor
Ambiente (Loc x año)	<0,0001
Tratamiento (5)	<0,0001
Ambiente*Tratamiento	<0,0001

Para un grupo de localidades de las regiones Norte de Bs As, Sudeste y Litoral Sur, donde se repitieron los ensayos en las 3 campañas, se realizó un análisis particular que consideró el efecto del año. Los tratamientos con las

mayores dosis de N presentaron diferencias significativas entre fuentes. Los rendimientos más altos fueron obtenidos con nitrodoble.

Las diferencias de rendimiento generadas con los tratamientos de menor dosis fueron de 569 kg/ha en el promedio de las fuentes respecto al testigo sin fertilizar, y de 225 kg/ha comparando los rendimientos obtenidos con la mayor dosis de nitrógeno, respecto a la dosis menor, también para el promedio de las fuentes (**Tabla 15**). En ambos casos las diferencias fueron significativas ($p < 0,0001$).

Tabla 15. Rendimientos medios por tratamiento

Tratamiento	Rto (Kg/ha)
Nitro 2	4706 a
Urea 2	4613 b
Nitro 1	4465 c
Urea 1	4405 c
Testigo	3867 d

Análisis de Varianza de rendimiento (ANOVA)- **Evaluación del efecto fuente y dosis.**

Este análisis mostró efectos del ambiente, fuente y dosis sobre el rendimiento ($p < 0001$) (tabla 16).

Tabla 16. Anva para rendimiento. Efecto fuente y dosis.

F.V.	p-valor
Ambiente	<0,0001
Fuente	0,029
Dosis	<0,0001
Fuente*Dosis	0,6443 ns

Las mayores diferencias se encontraron entre los niveles de fertilización o dosis, y luego con menor magnitud, aparece la fuente, también con diferencias significativas (Tabla 17). Los rendimientos obtenidos con nitrodoble fueron superiores a Urea, con diferencias de 77 kg/ha.

Tabla 17. Valores medios de rendimiento por fuente (Nitrodoble y Urea) y por dosis (alta 140-160 kg N/ha; baja 100-120 KgN/ha)

Fuente	Rto (kg/ha)
Nitro	4586
Urea	4509

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=68,71732

Dosis	Rto (kg/ha)
Alta	4660 a
Baja	4435 b

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=68,71732

Análisis de Varianza de Eficiencias (ANOVA)- **Evaluación del efecto año.**

Se llevó adelante el análisis de la varianza para cada una de las 3 eficiencias calculadas, evaluando el efecto año (tabla 18) y el efecto ambiente (Tabla 19), de la misma manera que se realizó el análisis de rendimiento separando el efecto de la fuente y la dosis.

Para evaluar el efecto de la campaña (año) sobre las distintas eficiencias se consideró un subconjunto de datos que integró a las 3 regiones (zonas CREA) presentes en los tres años de experimentación. Estas fueron Norte de Buenos Aires (NBA), Litoral Sur (LS), y Sudeste(SE). Los resultados del análisis de la varianza se presentan en la **Tabla 18**.

Para todas las eficiencias calculadas, existen efectos marcados de la interacción añoxfuente y zonaxFuente ($p < 0,0001$). Esto evidencia que las diferencias entre fuentes dependen del ambiente en el que se evalúen y de la campaña analizada (tabla 19).

Tabla 18. Anova de las 3 eficiencias evaluando el efecto año.

FV	Eficiencia Gral			Eficiencia Bajo N			Eficiencia Alto N		
	valor P	SC	gl	valor P	SC	gl	valor P	SC	gl
Año	<0,0001	1146	2	<0,0001	4265	2	0,0036	1683	2
zona	0,0002	776	2	<0,0001	3482	2	0,6826	78	2
Fuente	<0,0001	972	1	<0,0001	3225	1	0,0028	1295	1
Año*Fuente	<0,0001	988	2	<0,0001	3232	2	0,0082	1381	2
zona*Fuente	<0,0001	972	2	<0,0001	3428	2	0,0111	1276	2
Error		97,5	22		868	22		2522	22

Tabla 19. Comparación de medias de eficiencia general para las interacciones (año x Fuente) y (zona x fuente)

Año x Fuente ($p < 0,0001$)				Zona x Fuente ($p < 0,0001$)			
Año	Fuente	Ef. Gral		Zona	Fuente	Ef. Gral	
2017	Urea	13.2	a	SE	Urea	15.8	a
2017	Nitro	13.0	a	SE	Nitro	14.5	ab
2016	Nitro	10.1	b	NBA	Nitro	12.9	bc
2015	Nitro	9.6	b	NBA	Urea	11.8	c
2016	Urea	9.2	b	LS	Nitro	5.3	d
2015	Urea	8.3	b	LS	Urea	3.1	d

Fisher Alfa=0,05 DMS=2,52109 Fisher Alfa=0,05 DMS=2,52109

Análisis de Varianza de Eficiencias (ANOVA)- **Evaluación del efecto ambiente.**

Al igual que lo realizado para la variable rendimiento, para analizar las diferencias de eficiencias se construyó la variable ambiente a partir de la integración de año y localidad.

El análisis mostró efecto del ambiente sobre los 3 tipos de eficiencias evaluadas ($p < 0,0001$) (tabla 20), resultando apenas significativos los efectos de la fuente solo para la eficiencia general. Si bien las eficiencias a baja dosis y a alta dosis parecen ser mayores en el caso de Nitrodoble, estas diferencias no llegaron a ser significativas.

Tabla 20. Anova de las 3 eficiencias evaluando el efecto ambiente. Se presentan debajo los valores medios por fuente para cada eficiencia.

FV	Eficiencia Gral			Eficiencia Bajo N			Eficiencia Alto N		
	valor P	gl	sc	valor P	gl	sc	valor P	gl	sc
Ambiente	<0,0001	36	9877	<0,0001	36	44749	<0,0001	34	3708
Fuente	0,095	1	56	0,3098	1	95	0,5498	1	7
Ambiente*Fuente	0,958	35	402	0,9413	36	1980	0,007	30	1400
Error		66	1299		53	4791		42	861

Fuente	Kgtrigo/kgN	Fuente	Kgtrigo/kgN	Fuente	Kgtrigo/kgN
Nitro	11,8	Nitro	19,9	Nitro	10,4
Urea	10,2	Urea	18,1	Urea	9,9

Fisher Alfa=0,05 DMS=1,50280 Fisher Alfa=0,05 DMS=3,38449 Fisher Alfa=0,05 DMS=1,75964

Eficiencia General y productividad del sitio

Al analizar la eficiencia de respuesta a la fertilización para ambas fuentes integrando los tres años, se encontraron asociaciones positivas entre la eficiencia media o general, y la productividad media del sitio, estimada como el rendimiento promedio de todos los tratamientos en cada uno de las localidades (Figura 11). Esta asociación se observó para ambas fuentes de fertilizante, aunque en el caso de Nitrodoble, se observaron mayores niveles de eficiencia respecto de Urea principalmente en ambientes de menor productividad. Es decir por debajo de los 5000 kg/ha, parecería que Nitrodoble tuvo la mejor performance en terminos comparativos con urea. Por otro lado, hacia ambientes de mayor productividad (> 5000 kg/ha) las diferencias entre fuentes tienden a disminuir (Figura 11), aunque las relaciones presentan fuerte variabilidad.

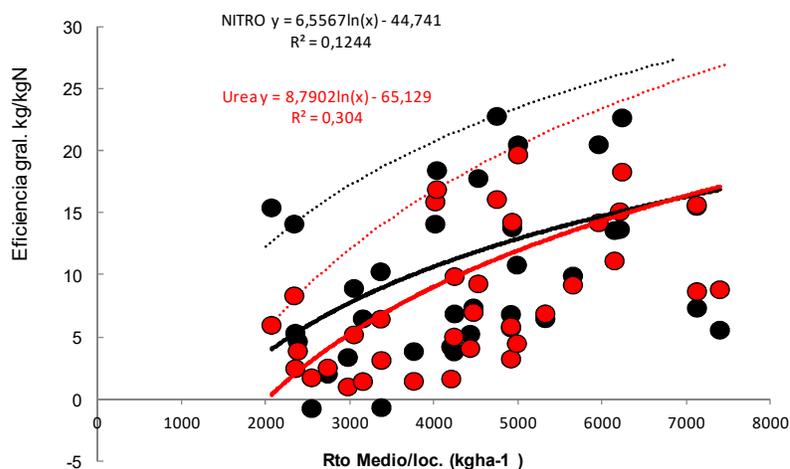


Figura 11. Relación entre la eficiencia media y el rendimiento medio del sitio para las dos fuentes evaluadas (símbolos negros nitrodoble, rojos Urea). Se presentan los ajustes de la función y líneas de frontera.

Respecto a las condiciones del ambiente edáfico y a diferencia de lo ocurrido para algún año particular, no se observaron tendencias marcadas entre la eficiencia media y la disponibilidad de materia orgánica ni de nitrógeno inicial del sitio (Figura 12), dos de las variables que se esperaba podían llegar a explicar parte de las diferencias.

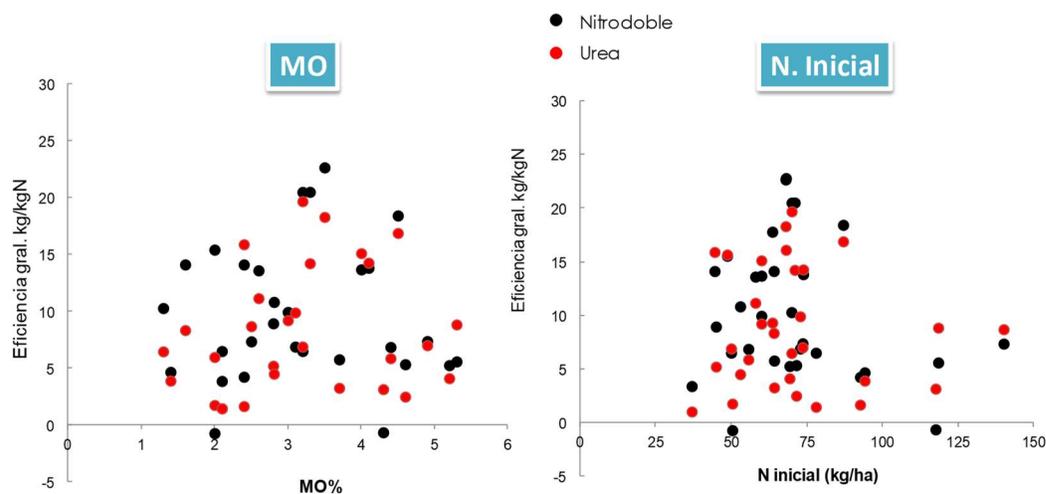


Figura 12. Relación entre la eficiencia media y los niveles de materia orgánica(MO %) y nitrógeno inicial en el suelo (N inicial kg/ha).

Resumen

- Este informe resume los principales resultados del tercer año de la red experimental de trigo y presenta los resultados más relevantes a partir de la integración de los tres años de experimentación.
- Se detectaron efectos de la fertilización sobre el rendimiento, asociándose mayores respuestas con mayores niveles de productividad o calidad del ambiente.
- Los tratamientos con Nitrodoble mostraron una leve tendencia a generar mayores incrementos de productividad, aunque esta tendencia solo resultó significativa en unos pocos casos, y no se pudo asociar con ningún factor, más allá de la productividad del sitio. La productividad del sitio (rendimiento medio) pudo explicar en parte las diferencias de eficiencias

entre fuentes. En niveles inferiores a los 5000 kg/ha, parecerían observarse las mayores ventajas de utilización de nitrodoble.

- Componentes de la tecnología de la fertilización como la dosis utilizada en mayor medida, y la fuente con un impacto menor, también generan diferencias de eficiencia.
- **Calidad:** La fertilización no solo modificó la productividad, sino también la calidad del grano cosechado (proteína y gluten). La fertilización foliar en espigazón, permitió mejorar la calidad del grano.
- En términos generales la aplicación de fertilizantes hasta una dosis que permita alcanzar niveles de entre 140 y 160 kg N/ha, permitirían mejorar los porcentajes de proteína en grano, y de esta manera evitar penalizaciones en el precio.