



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

INFORME FINAL

Convenio AACREA-YARA 2015-17

Comentarios iniciales

En la primera parte del presente informe se describen aspectos generales del proyecto y se resumen los principales resultados obtenidos durante el tercer año de experimentación (campana 2017/18). Se destacan los puntos más relevantes en comparación con las campañas anteriores.

En la segunda sección del informe se presentan de forma integrada los resultados obtenidos a lo largo de los 3 años de la red experimental.

Aspector generales del proyecto

Introducción

Luego del agua, el nitrógeno es uno de los principales factores limitantes del rendimiento de maíz 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 del cultivo. 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.

Objetivos generales

- (1) Generar información experimental que permita estudiar la eficiencia de uso de recursos en términos de su variabilidad y factores que la afectan.
- (2) En términos más específicos, evaluar el impacto de la tecnología (fuentes YaraBela-Nitrodoble y Urea con distintas dosis) sobre la modificación de la eficiencia de respuesta a la fertilización nitrogenada en MAÍZ.

Metodología

Se estableció una red experimental de Maíz a lo largo de 3 campañas consecutivas (2015/2016/2017) atravesando buena parte de las regiones productivas de Argentina.

Se llevaron a cabo un total de **45** ensayos finales y **479** unidades experimentales (Parcelas cosechadas) (Tabla 1).

Tabla 1. Base de datos generada por la red de experimentación de Maíz en 3 campañas. Los sitios corresponden a localidades y las unidades experimentales a las parcelas cosechadas de manera efectiva obteniendo un valor de rendimiento en cada una.

Campaña	Sitios	U. Exp.
2015	21	228
2016	10	111
2017	14	140
Total	45	479

El diseño experimental fue 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.

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 nitrogenado fue aplicado al voleo poco después de la siembra, en cobertura total. 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 variedad, fecha de siembra y protección se correspondió con un manejo de alta tecnología 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, ClC, CE, Na, Mg, K, Ca.
- 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.

En algunos sitios:

- Se midieron y registraron en algunos sitios 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 de los tratamientos. Posteriormente, para evaluar estadísticamente los resultados se realizaron análisis de varianza (ANOVA) considerando el efecto de sitio y a las repeticiones anidadas en ellos; 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 y el rendimiento máximo de cada sitio. Para ello, las variables respuesta que se consideraron fueron el rendimiento por unidad de superficie, (promedio y máximo de cada localidad) y la eficiencia de respuesta, también por unidad de superficie. Para cada fuente de fertilizante, se calculó una eficiencia media, una eficiencia a bajo nitrógeno y una eficiencia a alto nitrógeno (**Cuadro 1**):

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.

<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:	$\frac{\text{Rto N2} - \text{Rto N1}}{\text{N2} - \text{N1}}$

En segunda instancia, se evaluó la relación entre las distintas eficiencias calculadas cada año y las características del ambiente edáfico de cada sitio.

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

Variabilidad ambiental

Al igual que en las dos campañas previas el rango ambiental explorado fue muy amplio y se reflejó en los diversos niveles de productividad obtenidos en los 14 sitios que conformaron la red (**Figura 1**).

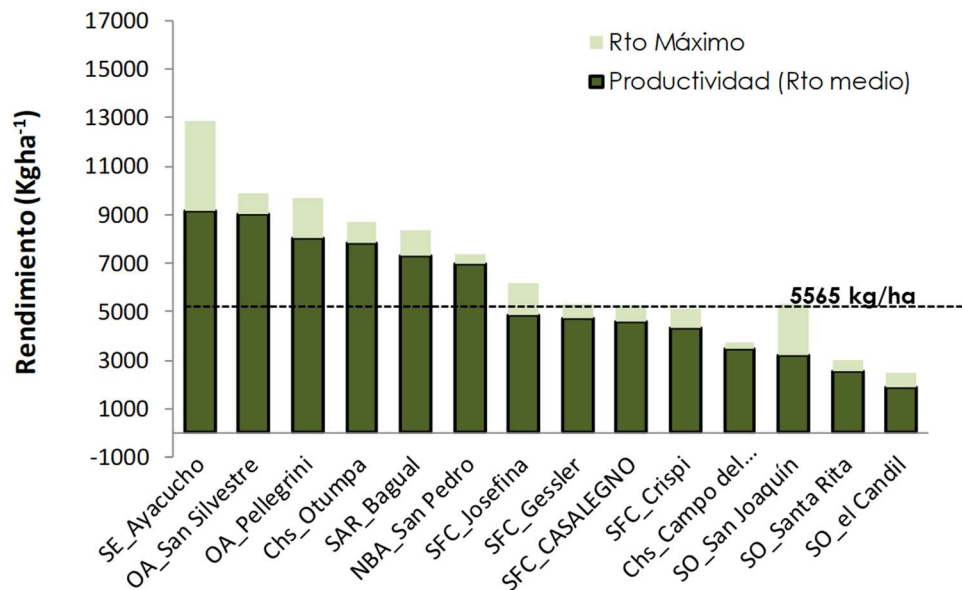


Figura 1. Rendimiento medio y máximo de los tratamientos en cada uno de los sitios expresados en Kg/ha^{-1} y con 14% de humedad.

El rendimiento medio de toda la red de ensayos durante la campaña 2017/18 fue de **5565 kg/ha** con un desvío estándar de **779 kg/ha**. Los mayores niveles de rendimiento medio se observaron en sitios ubicados en el sudeste y oeste de la provincia Buenos Aires (Localidad Ayacucho y San Silvestre). Hacia el sudoeste de esta provincia se observaron los menores niveles de productividad en los tres sitios experimentales de dicha zona. También bajos niveles de rendimiento medio se obtuvieron en uno de los dos sitios de la región Chaco Santiagueña. Los sitios ubicados en el centro de la provincia de Santa Fe (localidades Crispi; Casalegno, Gessler y Josefina) presentaron niveles de

productividad cercanos a la media de toda la red. A diferencia de campañas anteriores los rendimientos en la zona Norte de Buenos Aires no estuvieron dentro de los más altos. El máximo rendimiento promedio se observó en Ayacucho (Localidad de la región CREA Sudeste) con **9180 kg/ha** y un rendimiento máximo del sitio de **12856 kg/ha** mientras que el mínimo rendimiento medio se obtuvo en una localidad cercana a Coronel Suarez en la región Sudoeste con **1869 kg/ha**, definiendo esto el amplio rango de variabilidad de rendimientos explorado a pesar de haber sido una campaña de rendimientos medios más bajos a las precedentes. Nuevamente esta variabilidad ambiental resultó muy relevante y apropiada para el estudio del impacto de la tecnología de fertilización.

Al analizar la distribución de resultados de rendimiento por separado, se observa 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**). Comportamiento muy similar al de las campañas anteriores (**Figura 3**). Asimismo, los tratamientos con mayor dosis de fertilización (Nitrodoble2 y Urea2), mostraron mayores niveles de rendimiento que los tratamientos con menor dosis. Los tratamientos a mayores dosis ya sea de Nitrodoble o Urea muestran niveles similares de rendimientos a lo largo de la distribución empírica siendo en algunos pocos casos Nitrodoble 2 mayor a Urea 2 (**Figura 2**).

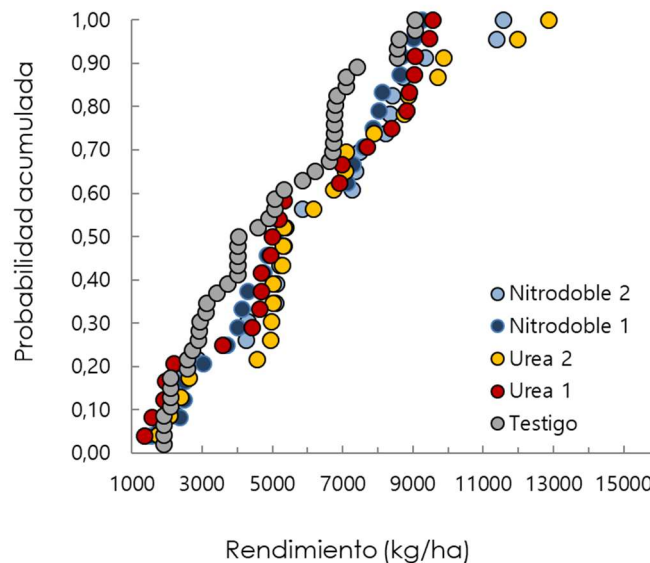


Figura 2. Distribución de rendimientos (probabilidad acumulada) por tratamiento para todos los sitios en la campaña 2017/18. Los tratamientos de dosis bajas corresponden a Urea 1 y Nitro 1 y los de altas dosis corresponden a Nitro 2 y Urea 2, se presenta el testigo sin fertilizar.

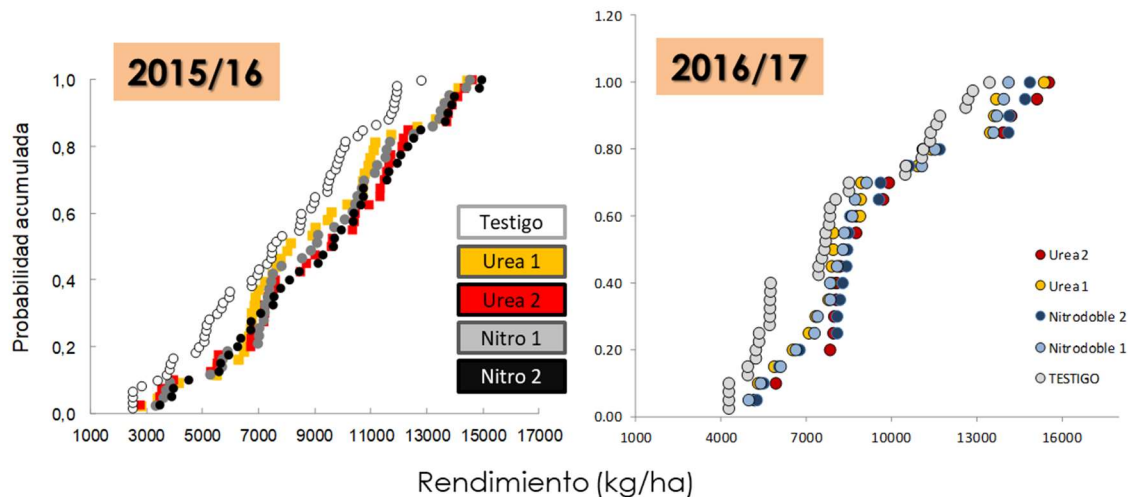


Figura 3. Distribución de rendimientos (probabilidad acumulada) por tratamiento en las campañas 2015/16 y 2016/17.

Para confirmar estas tendencias y supuestos a partir de este primer análisis exploratorio, se realizó el análisis de la varianza de los resultados (Tablas 2 y 3).

Análisis de Varianza de rendimiento (ANOVA)

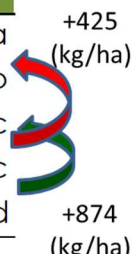
Este análisis mostró evidencias de las diferencias de rendimiento encontradas entre sitios ($p < 0,0001$), y entre tratamientos ($p < 0,0001$), aunque también permitió detectar un efecto de la interacción Localidad x Tratamiento ($p < 0,0001$) (**Tabla 2**). La interacción significativa encontrada sugiere 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 (ver anexo tabla 1). Estos efectos significativos fueron consistentes en los tres años evaluados.

Tabla 2. Resultados del ANOVA del rendimiento.

Análisis de la varianza		
F.V	valor p	SC%
Tratamiento	<0,0001	0.0369
Sitio	<0,0001	0.8477
Trat. * sitio	<0,0001	0.0618
Errorr		

Las diferencias de rendimiento generadas con los tratamientos de menor dosis fueron de **874** kg/ha en el promedio de las fuentes respecto al testigo sin fertilizar, y de **425** 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**). Sólo en el primer caso las diferencias fueron significativas ($p < 0,0001$). Este tipo de respuesta, mayor a bajos niveles de nitrógeno, fue consistente en los tres años, siendo menor en magnitud en la última campaña. (**Cuadro 2**).

Tabla 3. Comparación de medias de rendimiento por tratamiento en la campaña 2017/18.

Tratamiento	Rto (kg/ha)		
Urea 2	6373	a	
Nitrodoble 2	6201	ab	
Urea 1	5894	bc	
Nitrodoble 1	5831	c	
Testigo	4988	d	
LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=350,32			

Cuadro 2. Comparación de medias de rendimiento por tratamiento. Campañas 2016/17 y 2015/16.

2016/17			
Tratamiento	Rto (kg/ha)		
Urea 2	9557	a	
Nitrodoble 2	9477	a	+396
Nitrodoble 1	9136	b	+1183
Urea 1	9105	b	
Testigo	7937	c	
Fisher Alfa=0,05 DMS= 250,382			
2015/16			
Tratamiento	Rto (kg/ha)		
Nitrodoble 2	9222	A	
Urea 2	9125	A	+ 343
Nitrodoble 1	8971	A B	
Urea 1	8689	B	+ 1233
Testigo	7597	C	
Fisher Alfa=0,05 DMS= 289,65			

Al comparar entre fuentes para cualquiera de las dosis, las diferencias no resultaron significativas en ninguna de las tres campañas analizadas (Tabla 3 y cuadro 2). En dos de 3 años a bajos niveles de nitrógeno (dosis1) Nitrodoble superó a Urea (campañas 15/16 y 16/17) aunque sin diferencias significativas.

Comparación de eficiencias:

Al analizar la eficiencia de respuesta a la fertilización para ambas fuentes, no se encontraron fuertes asociaciones entre la eficiencia media, y la productividad media del sitio, estimada como el rendimiento promedio de todos los tratamientos en cada uno de las localidades, y tampoco relaciones muy fuertes entre dicha eficiencia y el rendimiento máximo del sitio (**Figura 4**).

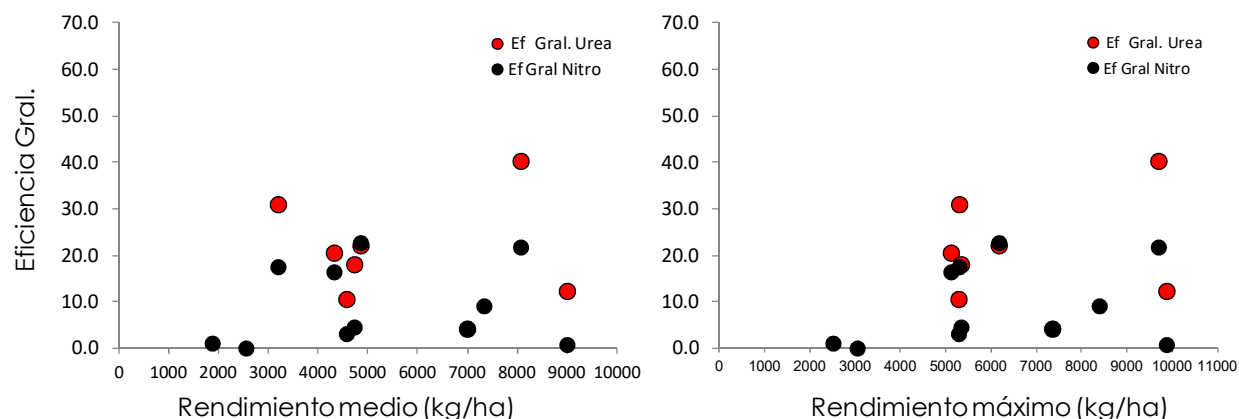


Figura 4. Eficiencia media de respuesta a la fertilización (Nitrodoble y Urea) según rinde medio del sitio y rendimiento máximo durante la campaña 2017/18.

La campaña 2017/18 no reunió suficiente información de sitio (edáficos y climáticos) para realizar correlaciones entre las eficiencias y dichos parámetros.

Al comparar las eficiencias calculadas entre fuentes de fertilización, se separaron de la base de datos los sitios sin respuesta a la fertilización, y se analizaron solo los sitios con respuesta (**Tabla 4**). Tanto en la campaña 2017/18 como las dos anteriores se observó una amplia variabilidad en las eficiencias calculadas para ambas fuentes, aún considerando solo los sitios con respuesta.

En todos los años y para el promedio de los sitios la eficiencia a bajos niveles de disponibilidad de nitrógeno (N) fue mayor a la eficiencia obtenida a altos niveles de disponibilidad de este nutriente. En la última campaña (2017/18) esta eficiencia mostró valores medios de **37,7** y **27,6 Kg/kgN** para Urea y Nitrodoble respectivamente. Sólo en la campaña 2015/16 las eficiencias a baja disponibilidad de N fueron mayores con nitrodoble respecto a Urea (**Tabla 5**).

La **eficiencia gral** o media estuvo en el orden de los **29,9 kg/kgN** para el caso de la Urea y de **24 kg/kgN** para el caso de Nitrodoble, con una variabilidad menor para esta última fuente (DE 25kg) (Tabla 4).

La **eficiencia a alto N** (cuando se aplica mayor cantidad de fertilizante) también resultó menor y menos variable para la fuente Nitrodoble (los valores fueron de **20 kg/kgN** (DE 24 kg) para el caso del Nitrodoble y de **24,6 kg/kgN** (DE 34 Kg) para el caso de Urea).

La respuesta media general favorable al uso de Nitrodoble se observó en el primero de los 3 años (2015) y se apoyó en la mayor respuesta obtenida a

bajos niveles de fertilización (Tabla 5). (a diferencia de lo que ocurrió en el cultivo de trigo con la información generada hasta el momento.)

Tabla 4. Eficiencias calculadas en los sitios con respuesta para cada una de las fuentes utilizadas. Se presenta la eficiencia general, la eficiencia a bajo nivel de nitrógeno y la eficiencia a alto nivel de nitrógeno, el promedio y desvío estándar (DE) para cada una.

Sitio	Urea			Nitrodoble		
	Ef Gral	Ef Bajo N	Ef Alto N	Ef Gral	Ef Bajo N	Ef Alto N
OA_Pellegrini	40	54	7	53	64	41
SE_Ayacucho	92	89	95	70	69	70
SFC_Crispi	21	27	10	16	23	6
SO_San Joaquín	31	36	59	18	18	17
SFC_Josefina	22	32	15	23	30	17
SFC_Gessler	18	44	4	5	9	2
SFC_CASALEGNO	11	14	4	3	3	4
NBA_San Pedro	4	4	4	4	5	2
Promedio	29.9	37.7	24.6	24.0	27.6	20.0
DE	28	26	34	25	26	24

Tabla 5. Promedio de eficiencia general, eficiencia a bajo y alto nivel de disponibilidad de nitrógeno separadas por fuentes en los 3 años. Se consideraron sólo los sitios con respuesta.

Eficiencias kg rto/KgN				
Año	Fuente	Ef. Gral	Ef. Bajo N	Ef. Alto N
2015	Nitro	26.5	49.2	7.4
	Urea	24.5	41.9	13.7
2016	Nitro	21.9	28.6	15.9
	Urea	24.6	33.2	17.0
2017	Nitro	24.0	27.6	20.0
	Urea	29.9	37.7	24.6

solo positivas

2- Síntesis de Resultados integrados de 3 años de experimentación

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

Variabilidad ambiente total

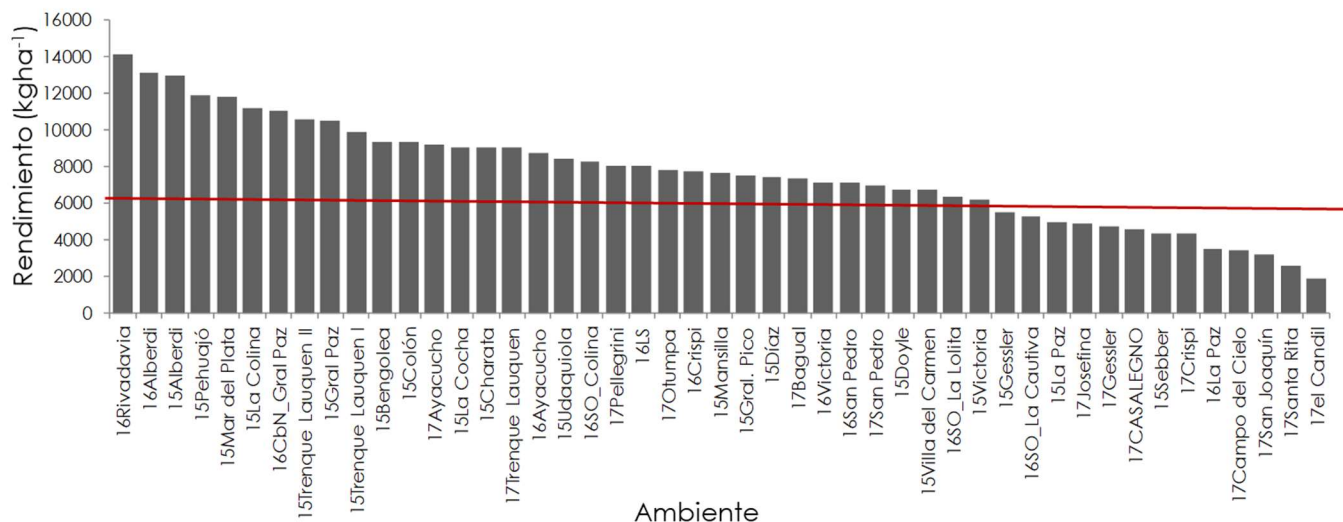


Figura 5. Rendimientos medios por ambiente (Localidad x año) considerando las tres campañas. Se presenta el rendimiento medio de toda la red en una línea horizontal.

En la **figura 5** queda evidenciada la amplia variabilidad ambiental explorada a lo largo de toda la red llevada a cabo en los 3 años de experimentación. El rendimiento medio fue de **7640kg/ha** con una variabilidad de **2885kg/ha** (Desvío estándar). Los rendimientos medios variaron desde 14077kg/ha obtenidos en la Localidad de Rivadavia durante la campaña 2016/17 a 1869kg/ha obtenidos en la última campaña en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Nuevamente la diversidad de resultados obtenidos responde no solo a gradientes agroecológicos conocidos, sino también a características propias consecuencia de la historia previa de cada sitio, y a la fuerte influencia del clima de la campaña analizada, tanto en lo que hace a precipitaciones, como a radiación y temperatura. Esto último podría ponerse en evidencia en la **figura 6** donde se presenta la distribución de rendimientos empírica (probabilidad acumulada por campaña).

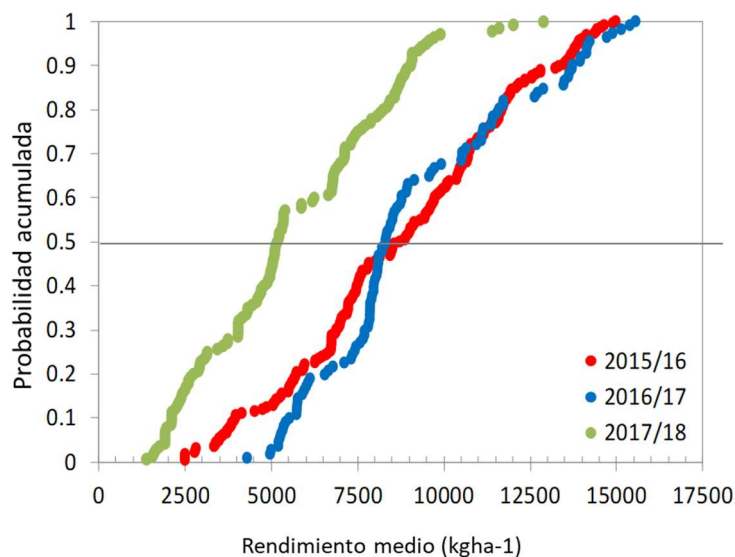





Figura 6. Distribución empírica de rendimientos (kg/ha⁻¹) – probabilidad acumulada - para cada año de experimentación.

Las 3 campañas difirieron significativamente en sus valores medios ($p < 0.0001$) siendo la última campaña la que se destacó no sólo por sus valores medios más bajos sino también por sus rendimientos mínimos y máximos inferiores (Tabla 6). La campaña 2015/16 parecería ser la que presentó una distribución de rendimientos mas amplia.

Tabla 6. Estadística descriptiva de las 3 campañas. Valores de rendimiento promedio, desvío estándar, máximos y mínimos. Se presentan las diferencias significativas entre media de cada año.

Campaña	Promedio	DE	Máx	Mín	
15/16	8729	3180	14962	2486	a 
16/17	9125	2882	15539	4285	a 
17/18	5564	2626	12856	1356	b 

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS:=800,99915

En el conjunto de las 3 campañas el cultivo exploró una amplia variabilidad de condiciones ambientales resultado adecuada para la evaluación de tecnologías como la fertilización.

Partiendo de este primer análisis exploratorio, se realizaron distintos análisis de la varianza de los resultados para confirmar la existencia de diferencias en rendimiento entre tratamientos. Se consideraron en los siguientes análisis las 3 campañas juntas evaluando el efecto Año (Tabla 7) y efecto Ambiente (Tabla 10).

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

Este análisis mostró evidencias de las diferencias de rendimiento encontradas entre campañas ($p < 0,0001$), y entre tratamientos ($p = 0,0046$), aunque no evidenció el efecto de la interacción año x tratamiento (Tabla 7). La ausencia de interacción significativa sugiere que el efecto de los tratamientos es independiente del año y viceversa.

Tabla 7. ANOVA para rendimiento considerando como factor de variación (F.V) a los tratamientos (Urea1, Urea2, Nitro1, Nitro2, testigo); el año (3 campañas) y la interacción. Se presenta los valores p y la suma de cuadrados (%).

Análisis de la varianza		
F.V.	p-valor	SC %
Tratamiento	0.0046	2.6%
Año	<0,0001	19.4%
Tratamiento*Año	0.9853	0.3%
Error		77.8%

Las diferencias de rendimientos medios en las distintas campañas ya fueron mencionadas anteriormente (Tabla 8).

Las diferencias de rendimiento generadas con los tratamientos de menor dosis fueron de **902 kg/ha** en el promedio de las fuentes respecto al testigo sin fertilizar, y de **456 kg/ha** entre los rendimientos obtenidos con la mayor dosis de nitrógeno, respecto a la dosis menor, también para el promedio de las fuentes (Tabla 9). Estas diferencias no fueron significativas. Sin embargo, la magnitud diferencial de las respuestas fueron semejantes a las de los análisis particulares de cada año. Es decir, las mayores diferencias en rendimiento se obtuvieron entre testigo y las dosis bajas de N. Para el análisis del promedio de los 3 años

esta magnitud duplicó al valor obtenido como la diferencia entre dosis 1 y 2. Al comparar entre fuentes para cualquiera de las dosis, las diferencias no resultaron significativas (Tabla 9). Este resultado también fue consistente a lo largo de los tres años de experimentación.

Tabla 8. Rendimientos medios por campaña

Año	Rto (kgha ⁻¹)	
2016	9180	a
2015	8839	a
2017	5710	b

Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=800,99915

Tabla 9. Rendimientos medios por tratamiento promediando las 3 campañas

Tratamiento	Rto (kgha ⁻¹)	
Urea 2	8405	a
Nitrodoble 2	8322	a
Nitrodoble 1	7950	ab
Urea 1	7865	ab
Testigo	7006	b

Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=1193,17080

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 interacción de la localidad y el año.

Este segundo análisis mostró evidencias de las diferencias de rendimiento encontradas nuevamente entre tratamientos ($p < 0,0001$) (tabla 11) y entre ambientes ($p < 0,0001$); también permitió detectar un efecto de la interacción ambiente x Tratamiento ($p < 0,0001$) (Tabla 10). Esta interacción significativa encontrada sugiere que el efecto de los tratamientos, es diferente dependiendo del ambiente en el que se evalúen. Por lo que es necesario contrastar las diferencias en las respuestas encontradas con las condiciones de cada sitio. (ver anexo tabla 2 medias Ambiente x tratamiento).

Tabla 10. ANOVA para rendimiento considerando como factor de variación (F.V) a los tratamientos (Urea1, Urea2, Nitro1, Nitro2, testigo); el ambiente (localidad x año) y la interacción. Se presenta los valores p y la suma de cuadrados (%).

Análisis de la varianza		
F.V.	p-valor	SC %
Ambiente	<0,0001	91.7%
Tratamiento	<0,0001	1.4%
Ambiente*Tratamiento	<0,0001	5.1%
rep		0.01%
Rep.>Ambiente		0.9%
Error		0.8%

Nuevamente las diferencias significativas entre tratamientos estuvieron dadas por los distintos niveles de fertilización (dosis) no siendo significativas las diferencias entre fuentes (tabla 11). Una vez más las mayores diferencias de rendimiento se obtuvieron entre el testigo y el promedio de las dosis mínimas con una magnitud de 1070 kg/ha ($p < 0.0001$), mientras que las diferencias entre dosis 1 y 2 para el promedio de las fuentes fue de 443 kg/ha también difiriendo significativamente.

Tabla 11. Diferencia de medias entre tratamientos

Tratamiento	Rto (kgha^{-1})	
Urea 2	8548	a
Nitrodoble 2	8502	a
Nitrodoble 1	8148	b
Urea 1	8017	b
Testigo	7012	c

Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=301,06508

Análisis de la varianza para las Eficiencias

En la sección anterior se realizó una primera comparación de las 3 eficiencias logradas con cada fuente y en cada año (ver tabla 5). En el siguiente apartado se llevó adelante el análisis de la varianza para cada una

de las 3 eficiencias, evaluando el efecto año (tabla 12) y el efecto ambiente (tabla 13).

Para evaluar el efecto de la campaña (año) sobre las distintas eficiencias se consideró un subconjunto de datos que integró a las 5 regiones (zonas CREA) presentes en los tres años de experimentación. Estas fueron Norte de Buenos Aires (NBA), Oeste arenoso (OA), Santa Fe Centro (SFC), Sudoeste (SO), y Sudeste(SE). Los resultados del análisis de la varianza se presentan en la tabla 12. El factor de variación tratamiento estuvo comprendido por dos niveles (Urea; Nitrodoble).

Tabla 12. Anova de las 3 eficiencias evaluando el efecto año.

FV	Eficiencia Gral		Eficiencia Bajo N		Eficiencia Alto N	
	valor P	SC%	valor P	SC%	valor P	SC%
Año	0.1712	1.1%	0.0008	15%	0.6803	1%
Zona	<0,0001	16.2%	0.011	13%	0.0308	18%
Tratamiento	0.2629	0.4%	0.2835	1%	0.5367	0.6%
Año*Zona	<0,0001	68.6%	0.0002	37%	0.1031	22%
Año*Tratamiento	0.0321	2.2%	0.5186	1%	0.8825	0.4%
Zona*Tratamiento	0.5309	0.9%	0.4505	3%	0.432	5.8%
Error		10.6%		30%		53%

Para ninguna de las tres eficiencias el tratamiento (fuente) tuvo efectos significativos. Sin embargo hubo efecto de la interacción entre el año y la zona en la eficiencia general y la eficiencia a bajo nivel de nitrógeno. (valores medios de la interacción en anexo tabla 3).

En el análisis de la varianza en el cual se evaluó el efecto del ambiente (localidad x año) se encontró un efecto significativo del mismo sobre las tres eficiencias ($P < 0.0001$) (tabla 13). En este análisis particular la eficiencia a bajos niveles de Nitrógeno fue mayor para la fuente Nitrodoble aunque sus diferencias no fueron significativas con urea (tabla 13).

Tabla 13. 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	SC%	valor P	SC%	valor P	SC%
Ambiente	<0,0001	79.75%	<0,0001	85.1%	<0,0001	59.7%
Fuente	0.4407	0.12%	0.3752	0.1%	0.0901	1.1%
Ambiente*Fuente	0.8899	5.52%	0.469	5.2%	0.9228	10.3%
Error		14.58%		9.6%		28.8%

Fuente	Kgmaíz/kgN	Fuente	Kgmaíz/kgN	Fuente	Kgmaíz/kgN
Nitro	17.75	Nitro	33.6	Nitro	11.4
Urea	19.09	Urea	31.2	Urea	15.5

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,37752 Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5,16329 Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,67574

Relación entre las eficiencias y el ambiente

Eficiencia General y productividad del sitio

Al analizar la eficiencia de respuesta a la fertilización para ambas fuentes integrando los tres años, se encontraron débiles asociaciones positivas entre la eficiencia media, y la productividad media del sitio, estimada como el rendimiento promedio de todos los tratamientos en cada uno de las localidades. Las relaciones fueron sutilmente más estrechas entre dicha eficiencia y el rendimiento máximo del sitio (Figura 8).

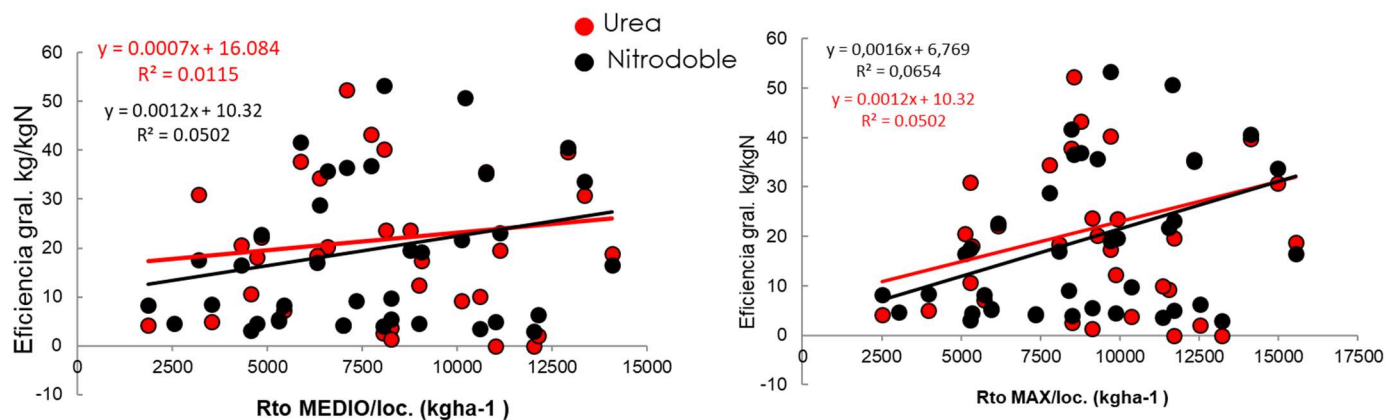


Figura 8. Relación entre la eficiencia media y el rendimiento medio del sitio (izq) y entre la eficiencia general y el rendimiento máximo (der) para las dos fuentes evaluadas.

Respecto a las condiciones del ambiente edáfico, no se observó relación entre la eficiencia de respuesta general o media y el N del suelo sin fertilización (Figura 9).

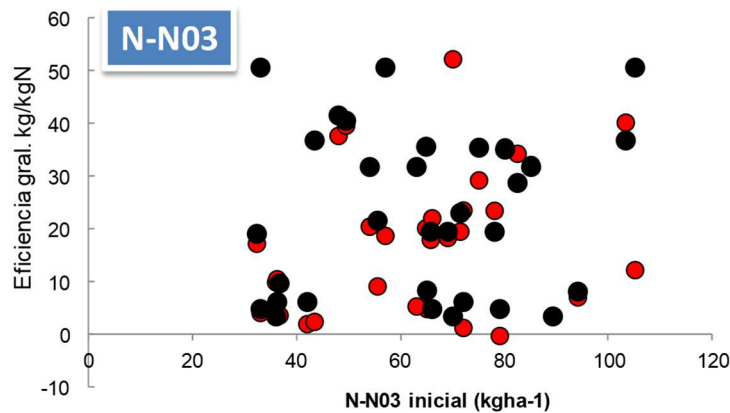


Figura 9. Relación entre la eficiencia media y el N de nitratos inicial en el suelo.

Se encontraron, sin embargo, relaciones positivas entre las eficiencias medias y algunas condiciones del sitio como por ejemplo, el contenido de materia orgánica (MO%) y el contenido de azufre en el suelo (S-SO4_ppm) (Figura 10).

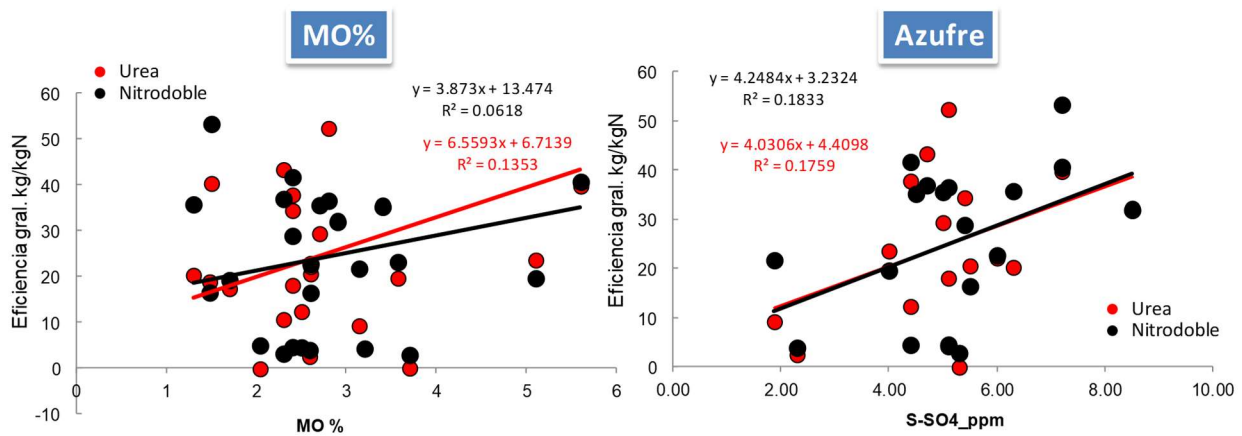


Figura 10. Relación entre la eficiencia media con la materia orgánica (Mo%) y el azufre del suelo para las dos fuentes de nitrógeno.

También se encontró una relación negativa entre la eficiencia media y los niveles de calcio (meq/100grs) y magnesio (meq/100grs) del sitio para ambas fuentes nitrogenadas (Figura 11). Es decir que a medida que se incrementan los niveles de estos elementos en el suelo, la eficiencia de respuesta a la fertilización disminuye siendo más fuerte la relación con el Nitrodoble y el calcio. Mientras que las caídas en eficiencia fueron similares cuando se asociaron al Magnesio (Mg) del sitio, estas disminuyeron a razón de 12 kg/kN por cada unidad de Mg en el suelo.

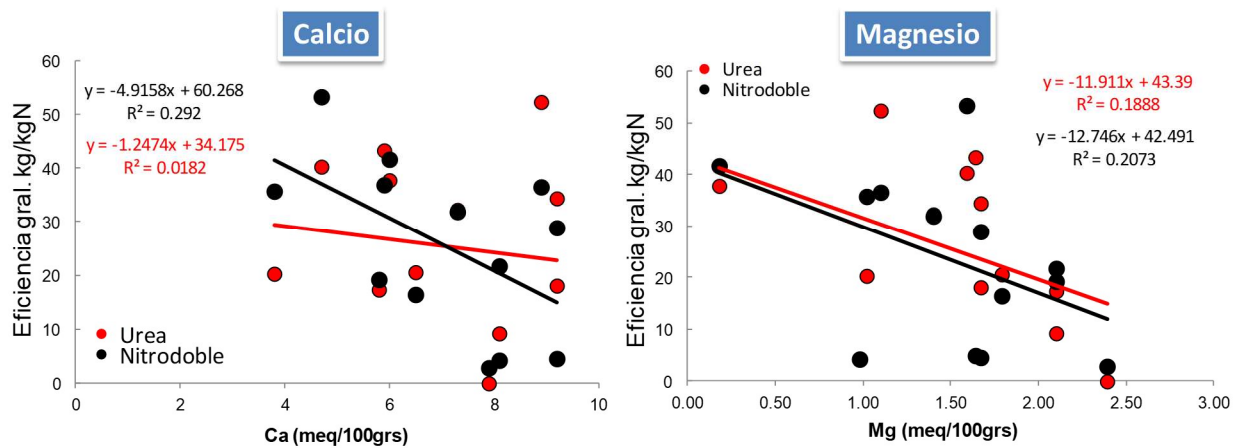


Figura 11. Relación entre la eficiencia media y los niveles de calcio (Ca) y de Magnesio (Mg) del suelo para las dos fuentes de nitrógeno.

Eficiencias y relación con nutrición foliar:

Se encontró una relación negativa y esperable entre la eficiencia general de respuesta a la fertilización y la concentración de N foliar (%) para ambas fuentes nitrogenadas (Figura 12). Para el caso del Nitrodoble la eficiencia disminuyó 7,75 (kg/kgN) por cada unidad de N foliar ($R^2=0,12$), mientras que para Urea la reducción es de 2kg/kgN por cada unidad de N foliar (Figura 12). Por último, además de lo observado con el N foliar, se observó la misma respuesta con una asociación no muy fuerte para ambas fuentes, entre la eficiencia media y la concentración de calcio en tejido foliar (Figura 12).

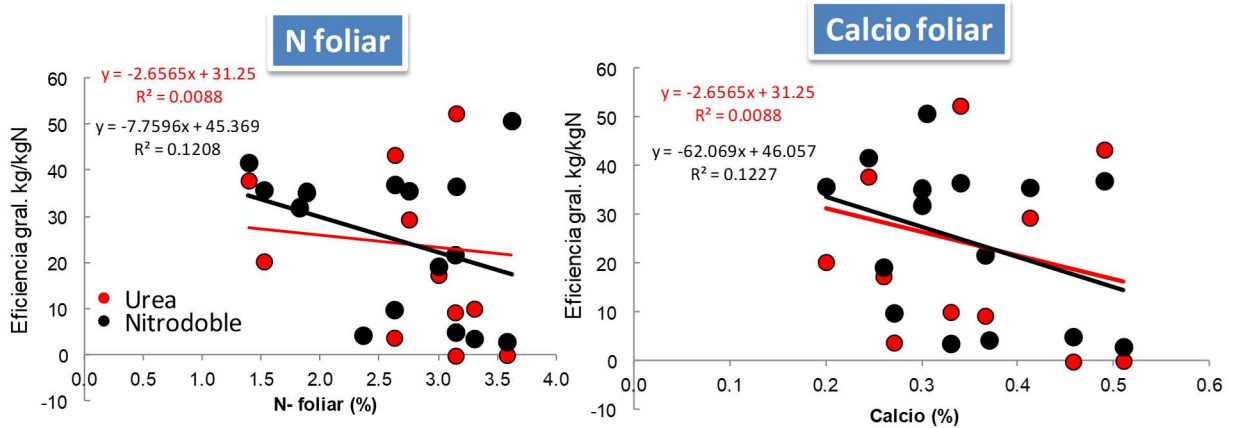


Figura 12. Relación entre la eficiencia media y los niveles de nitrógeno (N) y calcio (ca) presente en el tejido foliar.

Resumen

- En este informe se resumieron los principales resultados del tercer año de la red experimental de Maíz llevada a cabo en 14 sitios (localidades) del país, y se contrastaron con los obtenidos en las campañas anteriores. Posteriormente se resumieron los resultados más importantes emergentes de integrar los 3 años de experimentación.
- La campaña 2017/18 presentó condiciones más restrictivas para el cultivo de Maíz que se reflejaron en rendimientos inferiores en toda la distribución.
- Así mismo la variabilidad explorada dentro de la campaña fue amplia con diferencias entre sitios de hasta 7311 kg/ha entre el de mayor y menor productividad media. Esta condición del año contribuyó a incrementar la variabilidad total de las condiciones agroambientales donde las tecnologías probadas fueron evaluadas.
- Al igual que en los dos años anteriores, se detectaron efectos del tratamiento de fertilización sobre el rendimiento, siendo esta respuesta dependiente del sitio. El rendimiento aumento en promedio en la última campaña entre 800 y 1300 kg/ha según nivel de fertilización ($P < 0,001$), respecto de un testigo sin fertilizar.

- Nuevamente los mayores márgenes de ganancia en rendimiento se dieron entre el promedio de las dosis más bajas y el testigo. Un resultado consistente en los tres años.
- Otro resultado consistente en los tres años fue dado la ausencia de diferencias marcada entre fuentes evaluada. Sólo en el primer año (2015), los tratamientos con Nitrodoble mostraron rendimientos mayores a los alcanzados con Urea, aunque no en magnitudes significativas ($P > 0,05$).
- Las diferencias de eficiencia de respuesta a la fertilización entre fuentes fueron de magnitudes distintas. Las eficiencias a bajos niveles de disponibilidad de nitrógeno fueron las más elevadas consistentemente en todos los años. Sólo en el primer año la eficiencia a bajo N fue mayor para Nitrodoble respecto de Urea.
- Si bien en la última campaña las eficiencias con Nitrodoble fueron inferiores a Urea estas presentaron menor variabilidad.
- Al integrar los tres años se detectaron relaciones positivas entre las eficiencias de respuesta a la fertilización y la productividad del sitio (Rendimiento medio y máximo), con la materia orgánica y el azufre, no así con los niveles de nitrógeno inicial en el suelo.
- En el análisis integrado se repitieron las respuestas negativas del Nitrodoble al calcio y al magnesio presentes en el suelo. Estas relaciones negativas podrían deberse a la presencia de dichos elementos en su formulación.
- La red llevada a cabo en los 3 años permitió generar una base experimental consistente. Con más de 40 ensayos y más de 400 unidades experimentales distribuidas en varias regiones productivas del país.
- Permitted conocer y explorar los diferentes niveles de respuesta a la fertilización en distintas zonas productivas, independientemente de la fuente.
- Finalmente permitió generar información complementaria al cultivo de maíz como por ejemplo concentración de nutrientes en grano y suelo que puede ser de utilidad como fuente de consulta.

Anexo

Campaña 2017/18

Tabla 1. Comparación de medias de rendimiento para la interacción localidad x Tratamiento (p<0.0001)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1325,48266

Error: 393660,8437 gl: 72

Localidad	Tratamiento	Medias		
SE_Ayacucho	Urea 2	12420		
SE_Ayacucho	Nitrodoble 2	11473	SFC_CASALEGNC Urea 2	5119
OA_San Silvestre	Urea 2	9307	SFC_Crispi Nitrodoble 2	5106
OA_Pellegrini	Urea 2	9273	SFC_Crispi Urea 2	5013
OA_San Silvestre	Urea 1	9243	SFC_Gessler Urea 1	5004
OA_Pellegrini	Urea 1	9224	SFC_Josefina Urea 1	4966
OA_San Silvestre	Nitrodoble 1	8958	SFC_CASALEGNC Urea 1	4930
SE_Ayacucho	Urea 1	8936	SO_San Joaquín Urea 2	4918
OA_San Silvestre	Nitrodoble 2	8873	SFC_Josefina Nitrodoble 1	4901
SE_Ayacucho	Nitrodoble 1	8819	SFC_Crispi Nitrodoble 1	4855
OA_San Silvestre	Testigo	8799	SFC_Gessler Nitrodoble 2	4809
Otumpa	Nitrodoble 2	8711	SFC_Gessler Nitrodoble 1	4744
SAR_Bagual	Urea 1	8384	SFC_CASALEGNC Nitrodoble 2	4727
OA_Pellegrini	Nitrodoble 2	8270	SFC_Crispi Urea 1	4624
Otumpa	Nitrodoble 1	8035	SFC_CASALEGNC Nitrodoble 1	4572
Otumpa	Urea 2	7872	SFC_Gessler Testigo	4322
OA_Pellegrini	Nitrodoble 1	7857	SFC_CASALEGNC Testigo	4026
SAR_Bagual	Nitrodoble 1	7850	SFC_Josefina Testigo	4012
Otumpa	Urea 1	7685	SO_San Joaquín Nitrodoble 2	3746
SAR_Bagual	Nitrodoble 2	7469	SO_San Joaquín Nitrodoble 1	3241
NBA_San Pedro	Nitrodoble 2	7305	SO_San Joaquín Urea 1	3159
NBA_San Pedro	Nitrodoble 1	7201	SFC_Crispi Testigo	3149
NBA_San Pedro	Urea 2	7079	SO_Santa Rita Nitrodoble 1	2754
NBA_San Pedro	Urea 1	6935	SO_Santa Rita Testigo	2689
OA_Pellegrini	Testigo	6883	SO_Santa Rita Nitrodoble 2	2575
Otumpa	Testigo	6794	SO_Santa Rita Urea 2	2500
SAR_Bagual	Testigo	6766	SO_Santa Rita Urea 1	2068
SAR_Bagual	Urea 2	6729	SO_San Joaquín Testigo	2041
SE_Ayacucho	Testigo	6717	SO_el Candil Nitrodoble 1	2019
NBA_San Pedro	Testigo	6708	SO_el Candil Testigo	1945
SFC_Josefina	Nitrodoble 2	5608	SO_el Candil Nitrodoble 2	1943
SFC_Josefina	Urea 2	5593	SO_el Candil Urea 2	1899
SFC_Gessler	Urea 2	5134	SO_el Candil Urea 1	1467

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2954 AMBIENTE* TRATAMIENTO
 Error: 549994,7394 gl: 73

Ambiente	(loc* año)	Tratamiento	Rto Kg/ha			
Rivadavia2016	Urea 2	15330	Trenque Lauquen I2015..	Testigo	7634	
Alberdi2015	Nitrodoble 2	14921	Gral. Pico2015	Nitrodoble 2	7612	
Rivadavia2016	Nitrodoble 2	14787	La Cocha2015	Urea 2	7590	
Rivadavia2016	Urea 1	14495	Charata2015	Urea 1	7551	
Alberdi2015	Nitrodoble 1	14488	Bagua2017	Nitrodoble 2	7469	
Alberdi2015	Urea 1	14474	Charata2015	Testigo	7450	
Alberdi2016	Urea 1	14267	Diaz2015	Nitrodoble 2	7409	
Alberdi2016	Nitrodoble 2	14132	Charata2015	Nitrodoble 1	7369	
Alberdi2016	Urea 2	14071	Diaz2015	Urea 2	7363	
Rivadavia2016	Nitrodoble 1	14036	San Pedro2016	Nitrodoble 1	7352	
Mar del Plata2015	Urea 2	13869	San Pedro2017	Nitrodoble 2	7305	
Mar del Plata2015	Nitrodoble 2	13829	Charata2015	Nitrodoble 2	7295	
Alberdi2016	Nitrodoble 1	13649	Charata2015	Urea 2	7283	
Mar del Plata2015	Nitrodoble 1	13602	La Cocha2015	Testigo	7280	
Mar del Plata2015	Urea 1	13587	Villa del Carmen2015	Nitrodoble 1	7278	
Alberdi2016	Urea 1	13583	Gesster2015	Nitrodoble 2	7252	
Rivadavia2016	Testigo	12907	San Pedro2016	Urea 1	7218	
Udaquiola2015	Nitrodoble 2	12533	San Pedro2017	Nitrodoble 1	7201	
Udaquiola2015	Nitrodoble 1	12533	Gesster2015	Nitrodoble 1	7175	
Pehuajó2015	Nitrodoble 2	12429	Gral. Pico2015	Urea 2	7151	
Ayacucho2017	Urea 2	12420	Victoria2015	Nitrodoble 1	7092	
Pehuajó2015	Nitrodoble 1	12393	Victoria2015	Testigo	7092	
Colón2015	Urea 2	12252	San Pedro2017	Urea 2	7079	
Pehuajó2015	Testigo	12250	La Lofita2016	Urea 2	7034	
Colón2015	Nitrodoble 2	12135	Victoria2015	Urea 2	6972	
Udaquiola2015	Urea 2	12122	Mansilla2015	Testigo	6967	
Udaquiola2015	Testigo	11917	San Pedro2017	Urea 1	6935	
Alberdi2015	Testigo	11782	Gral. Pico2015	Urea 1	6892	
Udaquiola2015	Urea 1	11711	Pellegrini2017	Testigo	6883	
Pehuajó2015	Urea 2	11643	Gral. Pico2015	Nitrodoble 1	6851	
La Colina2015	Nitrodoble 2	11615	Victoria2015	Urea 1	6851	
Alberdi2016	Testigo	11509	Otumpa2017	Testigo	6794	
Ayacucho2017	Nitrodoble 2	11473	Gesster2015	Urea 2	6794	
La Colina2015	Nitrodoble 1	11460	Bagua2017	Testigo	6766	
La Colina2015	Urea 2	11413	Villa del Carmen2015	Urea 1	6760	
Pehuajó2015	Urea 1	11393	Bagua2017	Urea 2	6729	
Gral Paz2016	Nitrodoble 1	11303	Ayacucho2017	Testigo	6717	
Trenque Lauquen I2015..	Urea 2	11295	San Pedro2017	Urea 1	6708	
Gral Paz2016	Nitrodoble 2	11166	Gesster2015	Urea 1	6565	
Gral Paz2016	Urea 1	11166	Diaz2015	Urea 1	6545	
Colón2015	Nitrodoble 1	10953	Victoria2015	Nitrodoble 2	6491	
Trenque Lauquen I2015..	Urea 1	10932	La Lofita2016	Nitrodoble 2	6412	
La Colina2015	Urea 1	10915	La Lofita2016	Nitrodoble 1	6375	
Trenque Lauquen II201..	Urea 2	10890	Diaz2015	Nitrodoble 1	6227	
Colón2015	Urea 1	10868	La Lofita2016	Urea 1	6209	
Gral Paz2016	Urea 2	10809	Villa del Carmen2015	Testigo	5860	
Gral Paz2016	Testigo	10800	San Pedro2016	Testigo	5736	
Trenque Lauquen II201..	Nitrodoble 2	10740	Doyle2015	Nitrodoble 1	5704	
Trenque Lauquen II201..	Urea 1	10738	Doyle2015	Nitrodoble 2	5613	
Gral Paz2015	Nitrodoble 1	10616	Josefina2017	Nitrodoble 2	5608	
Trenque Lauquen I2015..	Nitrodoble 1	10607	Josefina2017	Urea 2	5593	
Trenque Lauquen I2015..	Nitrodoble 2	10527	La Cautiva2016	Urea 2	5567	
Gral Paz2015	Urea 2	10382	Doyle2015	Urea 2	5544	
La Cocha2015	Nitrodoble 1	10359	La Lofita2016	Testigo	5540	
Trenque Lauquen II201..	Testigo	10296	Gral. Pico2015	Testigo	5499	
Trenque Lauquen II201..	Nitrodoble 1	10263	Doyle2015	Urea 1	5486	
La Colina2015	Testigo	10238	La Cautiva2016	Nitrodoble 2	5389	
Gral Paz2015	Nitrodoble 2	10163	La Cautiva2016	Urea 1	5254	
Gral Paz2015	Testigo	9981	Gesster2015	Testigo	5229	
Ayacucho2016	Urea 2	9810	La Cautiva2016	Nitrodoble 1	5193	
Bengolea2015	Nitrodoble 2	9689	Gesster2017	Urea 2	5134	
Mar del Plata2015	Testigo	9688	Doyle2015	Testigo	5124	
Bengolea2015	Urea 2	9616	CASALEGNO2017	Urea 2	5119	
Ayacucho2016	Nitrodoble 2	9590	Crispi2017	Nitrodoble 2	5106	
Gral Paz2015	Urea 1	9515	La Cautiva2016	Testigo	5093	
San Silvestre2017	Urea 2	9307	Crispi2017	Urea 2	5013	
Pellegrini2017	Urea 2	9273	Gesster2017	Urea 1	5004	
San Silvestre2017	Urea 1	9243	Josefina2017	Urea 1	4966	
Pellegrini2017	Urea 1	9224	CASALEGNO2017	Urea 1	4930	
Colón2015	Testigo	9183	San Joaquín2017	Urea 2	4918	
Bengolea2015	Nitrodoble 1	9103	Josefina2017	Nitrodoble 1	4901	
San Silvestre2017	Nitrodoble 1	8958	Crispi2017	Nitrodoble 1	4855	
Bengolea2015	Urea 1	8956	Gesster2017	Nitrodoble 2	4809	
Ayacucho2017	Urea 1	8936	Gesster2017	Nitrodoble 1	4744	
Ayacucho2016	Urea 1	8920	CASALEGNO2017	Nitrodoble 2	4727	
San Silvestre2017	Nitrodoble 2	8873	Crispi2017	Urea 1	4624	
Ayacucho2017	Nitrodoble 1	8819	CASALEGNO2017	Nitrodoble 1	4572	
San Silvestre2017	Testigo	8799	Gesster2017	Testigo	4322	
Crispi2016	Urea 2	8761	Crispi2016	Testigo	4285	
Otumpa2017	Nitrodoble 2	8711	Sebber2015	Nitrodoble 2	4201	
Mansilla2015	Nitrodoble 1	8707	CASALEGNO2017	Testigo	4026	
Ayacucho2016	Nitrodoble 1	8674	Josefina2017	Testigo	4012	
Colina2016	Nitrodoble 1	8609	Sebber2015	Urea 1	3939	
Mansilla2015	Urea 2	8599	Diaz2015	Testigo	3818	
San Pedro2016	Nitrodoble 2	8485	San Joaquín2017	Nitrodoble 2	3746	
LS2016	Nitrodoble 2	8473	La Paz2015	Nitrodoble 1	3717	
Bengolea2015	Testigo	8471	La Paz2015	Nitrodoble 2	3715	
Colina2016	Urea 1	8414	La Paz2015	Urea 2	3715	
Bagua2017	Urea 1	8384	Campo del Cielo2017	Nitrodoble 1	3704	
Mansilla2015	Nitrodoble 2	8336	Campo del Cielo2017	Urea 1	3574	
LS2016	Nitrodoble 1	8321	Sebber2015	Nitrodoble 1	3514	
Pellegrini2017	Nitrodoble 2	8270	La Paz2015	Testigo	3372	
Colina2016	Nitrodoble 2	8241	San Joaquín2017	Nitrodoble 1	3241	
La Cocha2015	Nitrodoble 2	8103	San Joaquín2017	Urea 1	3159	
Crispi2016	Nitrodoble 2	8095	Sebber2015	Urea 2	3154	
LS2016	Urea 2	8094	Crispi2017	Testigo	3149	
Colina2016	Urea 2	8082	Campo del Cielo2017	Testigo	3101	
Otumpa2017	Nitrodoble 1	8035	La Paz2015	Urea 1	3084	
San Pedro2016	Urea 2	8013	Santa Rita2017	Nitrodoble 1	2754	
La Cocha2015	Urea 1	8000	Santa Rita2017	Testigo	2689	
Colina2016	Testigo	7975	Santa Rita2017	Nitrodoble 2	2575	
Crispi2016	Urea 1	7952	Santa Rita2017	Urea 2	2500	
Mansilla2015	Urea 1	7949	Sebber2015	Testigo	2486	
Otumpa2017	Urea 2	7872	Santa Rita2017	Urea 1	2068	
Pellegrini2017	Nitrodoble 1	7857	San Joaquín2017	Testigo	2041	
Bagua2017	Nitrodoble 1	7850	El Candil2017	Nitrodoble 1	2019	
Crispi2016	Nitrodoble 1	7850	El Candil2017	Testigo	1945	
LS2016	Urea 1	7841	El Candil2017	Nitrodoble 2	1943	
LS2016	Testigo	7765	El Candil2017	Urea 2	1899	
Ayacucho2016	Testigo	7762	El Candil2017	Urea 1	1467	
Otumpa2017	Urea 1	7685				

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Tablas anexo 3. Interacción año x zona

Eficiencia general

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=21,05931

Error: 62,9326 gl: 36

Año	Zona	Ef. Gral
17	SUDESTE	80.8
16	SFC	40.0
16	NBA	38.5
15	SFC	35.8
15	NBA	25.3
15	OA	25.0
16	SUDESTE	21.5
17	OA	20.3
16	OA	18.0
15	SO	16.3
17	SFC	14.0
16	SO	10.0
17	SO	9.5
17	NBA	4.5
15	SUDESTE	4.0

Eficiencia bajo N

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=55,314;

Error: 434,1795 gl: 36

Año	Zona	Ef bajo N
17	SO	92.3
16	OA	59.5
17	NBA	57.0
15	NBA	50.5
17	OA	45.3
17	SFC	43.3
16	NBA	37.3
16	SUDESTE	35.5
15	SFC	23.5
16	SO	19.5
16	SFC	16.5
15	OA	11.3
15	SUDESTE	6.5
15	SO	4.3
17	SUDESTE	3.3