

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN PARA MEJORAR INTEGRALMENTE SANIDAD, CALIDAD Y RENDIMIENTO EN TRIGO PAN

Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino,
Proyecto Regional Agrícola, Campaña 2010

Gustavo N. Ferraris¹, Lucrecia A. Couretot¹ y Mirta Toribio²

Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (2700) Pergamino

2. Investigación y Desarrollo Profertil SA

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

En la Región Pampeana Argentina, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) limitan los rendimientos en un grado variable según calidad de ambiente, cultivo y nivel de rendimiento. Los cereales de invierno han incrementado su productividad en los últimos años gracias a la mejora genética, el uso estratégico de insumos y un mayor ajuste en prácticas de manejo, como almacenaje de agua en el suelo, uso de modelos de fertilización o control de enfermedades. Sin embargo, existe una serie de tecnologías adicionales que podrían integrarse a las prácticas habituales de cultivo. Utilizadas en forma correcta, algunas de estas prácticas cumplen con el requisito de incrementar la eficiencia de uso de los recursos más limitantes-agua y nutrientes-, aumentar la calidad y mejorar la sanidad, siendo por lo general de bajo impacto agroecológico y ambiental.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la respuesta del cultivo de trigo al uso de distintas tecnologías de fertilización consistentes en: 1. Dosis de N 2. Momentos de aplicación 3. Fuentes y 4. Tecnologías para mejorar la calidad y sanidad de uso foliar en estados avanzados de cultivo.

Materiales y métodos

Se realizó un experimento de campo en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico. En el experimento se evaluaron tratamientos de 1. Dosis de N -0, 84 y 104 kg N ha⁻¹ 2. Momentos de aplicación -siembra, macollaje y hoja bandera expandida (HB)- 3. Fuentes de N -Urea, Urea tratada con NBPT y Urea de aplicación foliar con bajo contenido de biuret 4. fungicida, utilizando como transportador una solución de urea para aplicación foliar.

El experimento fue conducido con un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y catorce tratamientos. El detalle de tratamientos evaluados se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos evaluados en el ensayo.

Tratamiento	Fuente	DAP siembra		SO ₄ NH ₄ (kg S ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	N-Foliar 20	Momentos de Aplicación	Línea de Investigación
		N (kg N ha ⁻¹)	P (Kg PO ₄ ha ⁻¹)					
T1	Testigo N	0	46 kg/ha	23 kg S/ha	0			
T2	SPT (100 kg/ha) + SO ₄ Ca (127 kg/ha) + UG (183 kg/ha)	Urea 84,4 kg N/ha	46 kg/ha	23 kg S/ha	0		Siembra	
T3		Urea + NBPT 84,4 kg N/ha	46 kg/ha	23 kg S/ha	0		Siembra	Fertilización Ampliada
T4		0	46 kg/ha	23 kg S/ha	Urea + NBPT 84,4 kg N/ha		Macollaje	Fertilización Ampliada
T5	SPT (100 kg/ha) + SO ₄ Ca (127 kg/ha) + UG	20 kg N/ha	46 kg/ha	23 kg S/ha	Urea 64,4 kg N/ha		Siembra y Macollaje	
T6	siembra (40 kg/ha) + UG mac (140 kg/ha)	20 kg N/ha	46 kg/ha	23 kg S/ha	Urea + NBPT 64,4 kg N/ha		Siembra y Macollaje	Fertilización Ampliada
T7	SPT (100 kg/ha) + SO ₄ Ca (60 kg/ha) + UG siemb	20 kg N/ha	46 kg/ha	23 kg S/ha	Urea 64,4 kg N/ha	20 kg N/ha	Siembra, Macollaje y HB	Fertilización Asociada para calidad

T8	(40 kg/ha) + UG mac (140 kg/ha) + 100 lts/ha N-Foliar 20	20 kg N/ha	46 kg/ha	23 kg S/ha	Urea 64,4 kg N/ha	20 kg N/ha + fungicida	Siembra, Macollaje y HB	Fertilización Asociada para calidad
T9	100 SPT	50 kg N/ha	108 kg/ha	10 kgS/ha			Siembra	TUA (tecnología base zonal)

El ensayo fue sembrado el día 1 de Julio, con una sembradora experimental de siembra directa que distancia las hileras a 0,20 m. El antecesor fue soja de primera, y el cultivar sembrado Nidera Baguette 9. A la siembra, los tratamientos fueron fertilizados con 100 kg ha⁻¹ de Superfosfato Triple (0-20-0), y, a excepción del T13, con 127 kg ha⁻¹ de Sulfato de Calcio (0-0-0-18S). Se detectaron desde temprano pústulas de Roya anaranjada de la hoja (*Puccinia recondita*) y una moderada incidencia de manchas foliares (*Septoria tritici* y *Pyrenophora tritici-repentis*). Dada la severidad, y aun cuando algunos de los tratamientos estaban destinados a mejorar el comportamiento sanitario del cultivo, todo el ensayo fue tratado con *Pyraclostrobin + Epoxiconazole* (13,5 + 5%), a la dosis de 1000 ml ha⁻¹ en tres nudos (Zadoks 33), evitando de este modo la pérdida total del área foliar antes de la aplicación en HB. Los tratamientos T7 a T12 oficiaron a modo de una segunda aplicación, necesaria dada la reincidencia observada a finales de ciclo.

Previo a la siembra, se realizó un análisis químico de suelo por bloque, cuyos resultados promedio se expresan en la Tabla 2. El sitio contaba con una adecuada disponibilidad hídrica inicial, que alcanzó a 135 mm de agua útil (0-140 cm).

Tabla 2. Análisis de físico-químico de suelo a la siembra.

Identificación	Pergamino 2010					
Prof cm	0-20			20-40 40-60	Humedad suelo (siembra)	
Muestras N°	11055			11056		
pH	5,8	lig ácido			135 mm (0-140 cm) Normal a húmedo	
CE	0,084	baja				Sin compactación Ni erosión
MO %	2,57	baja				
N total (%)	1,29	bajo				
Pe	10,7	medio				
N-NO3	9			4 + 3		
N kg/ha	41,6	medio				
S-SO4 kg/ha 0-60	31,2	bajo				
Ca (meq)	8,4	muy alto				
Mg (meq)	2,4	muy alto				
K (meq)	1,5	muy alto				

Se estimó N en hoja bandera mediante una medida adimensional no destructiva con Spad, el vigor de planta en hoja bandera expandida (Zadoks 39) y la cobertura en anthesis (Zadoks 65). La cosecha se realizó en forma mecánica, recolectado toda la parcela. Sobre muestra

de cosecha se determinó NG (número de grano), PG (peso de los granos) PH (Peso hectolítrico) y concentración de N, permitiendo estimar % de proteína.

Resultados y discusión

A) Características climáticas de la campaña

En 2010, la reserva inicial de agua en el suelo fue muy adecuada, abasteciendo las necesidades del cultivo sin restricciones hasta noviembre, cuando la escasez de lluvias provocó un déficit moderado sin demasiado impacto en los rendimientos (Figura 1).

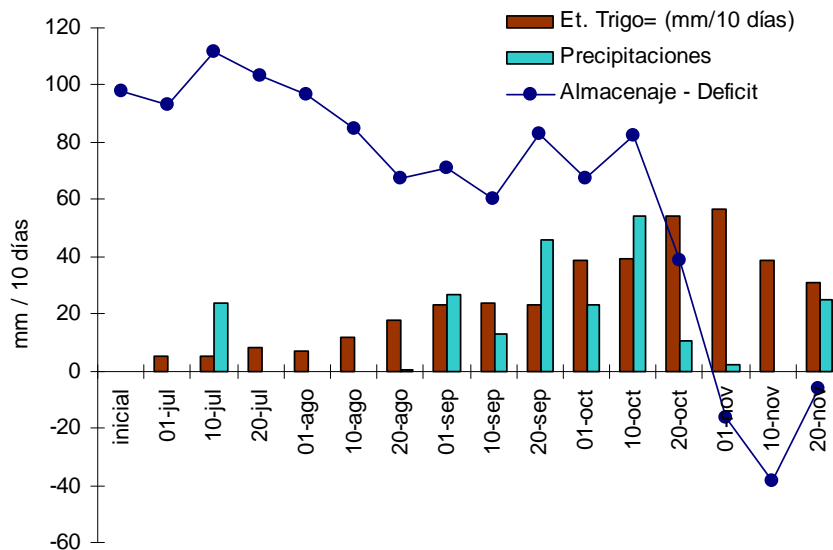


Figura 1. Evapotranspiración, precipitaciones y balance hídrico, expresados como lámina de agua útil (valores positivos) o déficit de evapotranspiración (valores negativos) para trigo en Pergamino. Valores acumulados cada 10 días en mm. Año 2010. Lámina de agua útil inicial (140 cm) 135 mm, déficit acumulado en el ciclo 61 mm.

En la Figura 2 se presenta el cociente fototermal (Q) (Fisher, 1985) el cual representa la relación existente entre la radiación efectiva diaria en superficie y la temperatura media diaria, y es una medida del potencial de crecimiento por unidad de tiempo térmico de desarrollo. Sin alcanzar los valores excepcionales de 2009, este índice fue favorable durante el ciclo 2010 (Tabla 3). Los rendimientos superiores del ciclo 2010 con relación a 2009 se explican en una mejor condición hídrica, producto de mayor almacenaje de agua al momento de sembrar el cultivo.

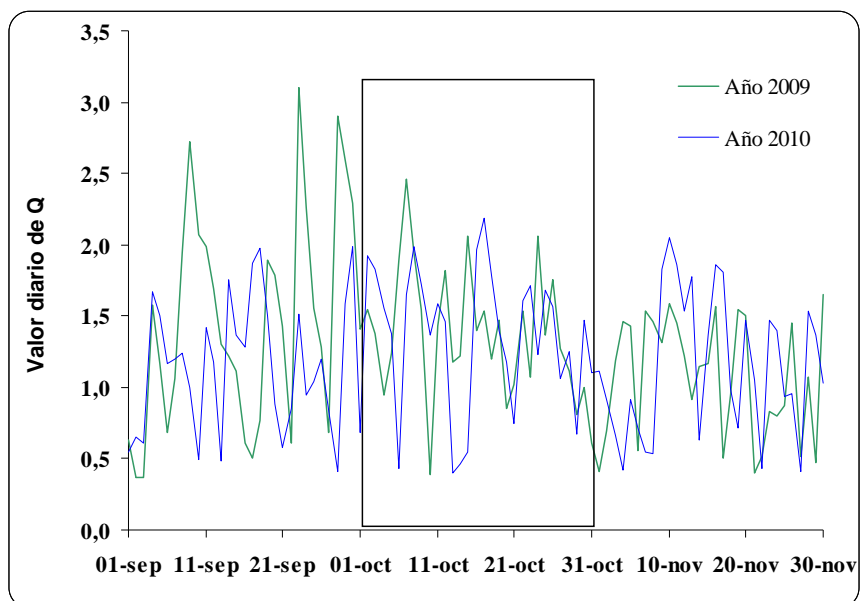


Figura 2. Coeficiente fototermal (Q) durante el ciclo de cultivo de trigo. La etapa abarcada por el rectángulo representa el período crítico para la definición del rendimiento. Pergamino, Años 2009 y 2010.

Tabla 3. Insolación efectiva (hs), Temperatura media (C°) y Cociente fototermal Q (T base 0°C) para el período crítico del cultivo de Trigo en la localidad de Pergamino. Se tomó entre 15 de setiembre al 15 de Octubre durante los años 2005 a 2009, y del 1 al 30 de Octubre en 2010, por encontrarse las etapas desfasadas en el tiempo durante esta campaña.

Condiciones ambientales	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010
Insolación Efectiva media (hs)	7,2	7,1	5,9	6,9	8,3	7,45
T media del período °C	15,1	17,1	15,0	16,4	13,4	14,8
Cociente fototermal (Q) (Mj m ⁻² día ⁻¹ °C ⁻¹)	1,24	1,10	1,12	1,10	1,56	1,34

B) Rendimientos y otras variables de cultivo en trigo

En la Tabla 4 se presentan los datos de algunas variables evaluadas a lo largo del ciclo.

Tabla 4. Plantas emergidas, índice de vigor en hoja bandera (HB:Z39), cobertura en antesis (Z65), Intensidad de verdor en Unidades Spad en Z65, fitotoxicidad foliar luego por aplicaciones (T7-T12), rendimiento de grano y sus componentes. Estrategias de fertilización para mejorar sanidad, calidad y rendimiento en trigo pan. Pergamino. Campaña 2010.

Trat	N° plantas a la siembra	Índice de vigor Z39	Cobertura en Z65	Unidades Spad	Rendimiento	NG	PG (g)	PH	Proteína (%)
T1	299	3,0	85,6	37,0	5553,8	12916	43,0	80,3	10,3
T2	302	3,8	93,6	46,3	6673,1	17333	38,5	82,2	12,0

T3	307	3,8	96,2	43,6	7036,5	1675 4	42,0	79,9	11,7
T4	314	4,0	98,2	46,2	7093,5	1648 6	40,5	77,8	11,3
T5	309	3,7	96,7	45,2	6851,9	1773 4	40,0	80,7	12,3
T6	311	3,9	96,4	46,0	6961,5	1897 9	37,5	80,5	12,2
T7	307	4,2	96,1	47,6	6998,1	1832 0	38,0	82,2	12,1
T8	308	4,2	96,2	47,9	7276,9	1762 3	39,0	80,1	12,7
T9	307	3,5	95,3	45,5	6080,8	1579 4	38,5	78,7	12,4

Índice de vigor: 1. Malo 2. Regular 3. Bueno 4. Muy bueno 5. Excelente. Para elaborar el índice de vigor se tomó como base la cobertura, altura de la planta, intensidad de verde y uniformidad de la parcela. **Cobertura:** La evaluación de cobertura se realizó mediante el procesamiento de imágenes digitales. >95 % se considera plena cobertura e intercepción de radiación.

Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos ($P=0,000$; $cv=3,03\%$). Todos los tratamientos superaron al testigo sin N (T1) y, entre los restantes tratamientos, todos superaron al tratamiento TUA (T9) (Figura 3). La característica saliente de T1 y T9 era su nulo o escaso aporte de N por fertilización. Este resultado podía ser anticipado a partir de una menor cobertura, intensidad de verde y vigor de planta desde estadios tempranos del ciclo de cultivo, y es explicable a partir de la baja disponibilidad de N en el suelo al momento de la siembra. El alto PG registrado en el testigo podría deberse a una compensación entre componentes del rendimiento, al fijar escaso número de granos. (Tabla 4). Este comportamiento fue observado en experiencias anteriores conducidas por nuestro grupo de trabajo.

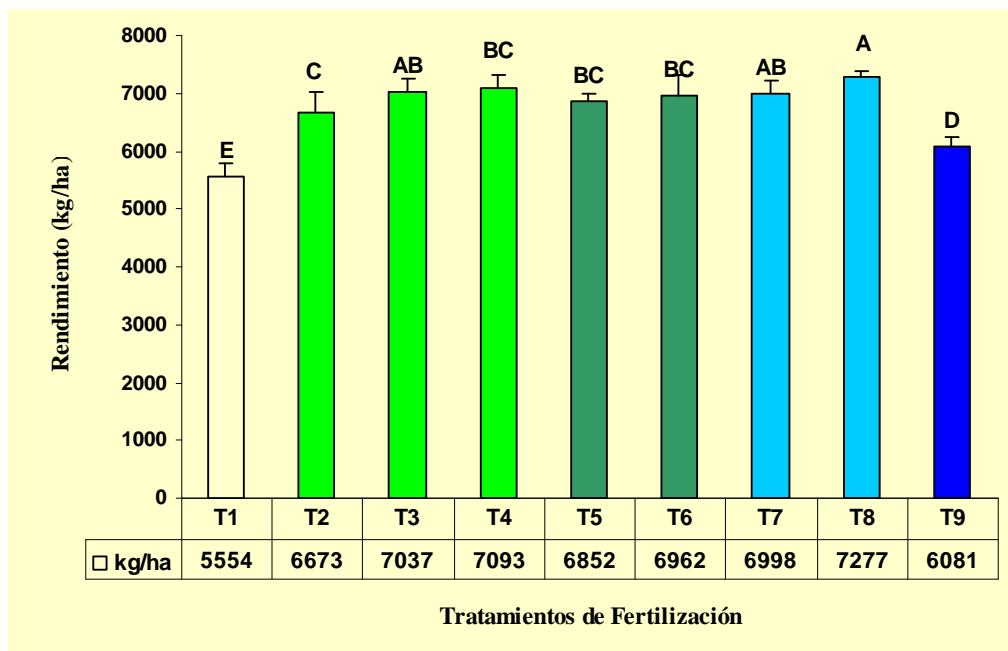


Figura 3. Producción media de trigo y significancia estadística de diferentes tratamientos de fertilización, descritos en la Tabla 1. Columna amarilla (T1): testigo, Columnas verde claro, aplicación única de N (siembra o macollaje), Columnas verde oscuro, aplicación dividida de N (siembra + macollaje) manteniendo igual dosis total. Columnas celestes: aplicación foliar complementaria. Columna azul: TUA, tecnología básica actual.

La Tabla 5 describe el comportamiento a Roya anaranjada de la hoja (*Puccinia recóndita*) en los diferentes tratamientos, para el estado de grano acuoso (Zadoks 71). Se destaca el T11 (re-aplicación de fungicida). Los niveles finales de severidad fueron bajos. Cabe recordar que se trata de aplicaciones de repaso, ya que todas las parcelas recibieron fungicida en Zadoks 33. Esta primera aplicación, realizada antes de la expansión de las hojas objeto de esta evaluación, habría bajado considerablemente la carga de inóculo en todas las parcelas.

Tabla 5. Roya de la hoja expresada en % de severidad en hoja bandera⁻¹ y hoja bandera. Fecha de evaluación 16 de noviembre, cultivo en grano acuoso (Zadoks 71).

Trat	Severidad en hoja bandera (%)	Severidad en hoja bandera-1 (%)
T1	10	10
T2	12	20
T3	7	10
T4	7	20
T5	10	20
T6	10	25
T7	7	25
T8	trazas	10
T9	14	25

Para comparar efectos individuales de nutrientes o estrategias, se realizaron contrastes ortogonales entre tratamientos o grupos de tratamientos. El detalle de los mismos se presenta en la Tabla 5. La fertilización en general, el uso de NBPT (eNe total) especialmente a la siembra, *Azospirillum brasilense* sobre Urea y la comparación entre un sistema optimizado y una tecnología básica arrojaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 6).

Tabla 6. Contrastes ortogonales para rendimiento de grano en trigo. Se presenta la significancia estadística y la diferencia numérica de rendimiento a favor del primer tratamiento o grupo presentado. Estrategias de fertilización para mejorar sanidad, calidad y rendimiento en trigo pan. Pergamino. Campaña 2010.

Comparación	Nutrientes con efecto positivo de fertilización	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Respuesta (kg ha ⁻¹)
(T2:T9)-T1	Fertilización nitrogenada	P=0,000	1402,5
T3-T2	Fuentes: Urea + NBPT vs Urea (siembra)	P=0,001	363,5
T5-T4	Fuentes: Urea + NBPT vs Urea (macollaje)	P=0,45 n.s.	109,6
T6-T5	Momentos: Urea + NBPT	P=0,69	56,9

	(macollaje vs siembra)		
(T3,T6) - (T2,T5)	Fuentes: Urea + NBPT vs Urea (siembra y macollaje)	P=0,02	236,5
T7 - T5	Estrategias: Uso de N20 foliar	P=0,32 n.s.	146,2
(T8) - (T9)	Sistemas: Producción optimizada vs TUA	P=0,000 n.s.	1196,2

Si se estudia la tendencia de los rendimientos, se verifica que la oferta total de N los explica de manera más ajustada que cualquier otra variable evaluada en el ensayo (Figura 4), aun cuando la pendiente de la curva está fuertemente determinada por los tratamientos de menor rendimiento. El nivel donde se alcanza el máximo, alrededor de 150 kgN ha⁻¹ considerando suelo (0-60 cm) más fertilizante, concuerda con los umbrales críticos recomendados para la región norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe en trigos de alto rendimiento. Por otra parte, una relación de 20 kgN (suelo + fertilizante) pareciera ser apropiada para alcanzar adecuados porcentajes de proteína (Figura 6).

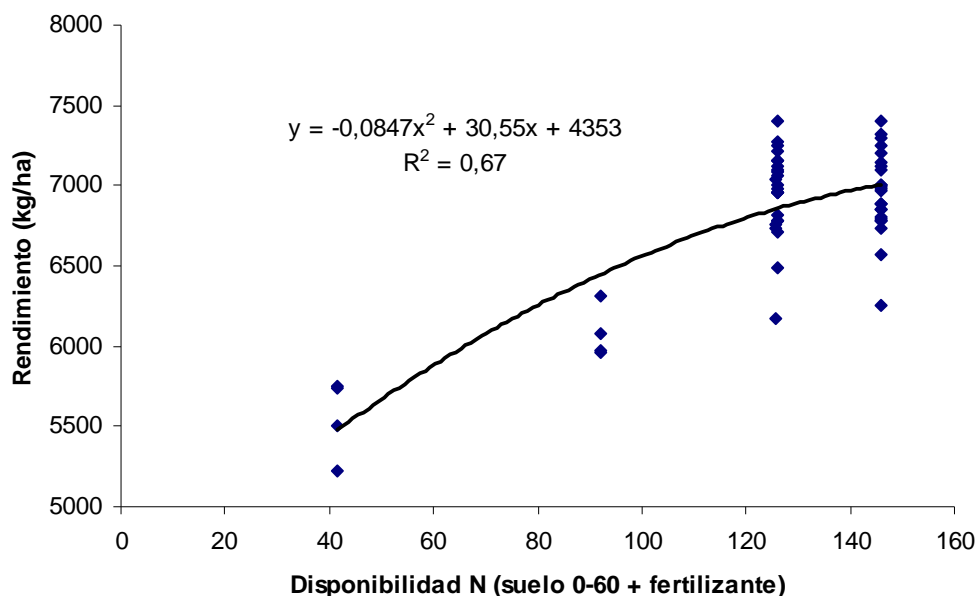


Figura 5. Relación entre rendimiento y nitrógeno disponible (suelo 0-60 cm + fertilizante) a la siembra del cultivo, considerando los datos por parcela. Estrategias de fertilización para mejorar sanidad, calidad y rendimiento en trigo pan. Pergamino. Campaña 2010.

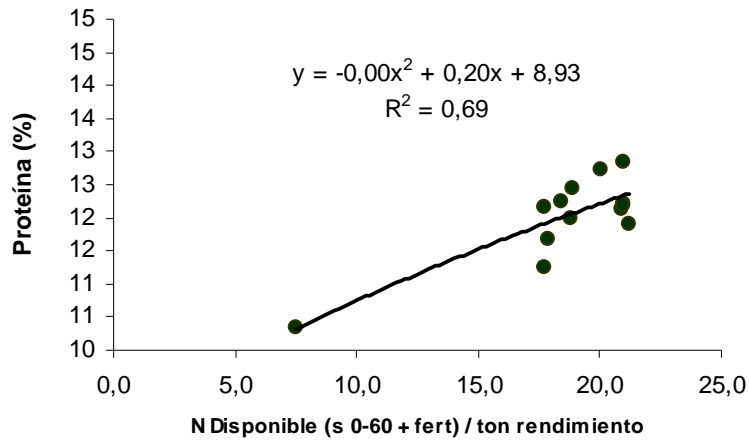


Figura 6. Relación entre nivel de proteína (%) y nitrógeno disponible (suelo 0-60 cm + fertilizante)/ton rendimiento cosechado. Estrategias de fertilización para mejorar sanidad, calidad y rendimiento en trigo pan. Pergamino. Campaña 2010.

Consideraciones finales

- El N fue el elemento más limitante, gobernando la tendencia de cambio en los rendimientos.
- Analizados a través de contrastes, la fertilización en general, el uso de NBPT (eNe total) especialmente a la siembra, y la comparación entre un sistema optimizado y una tecnología básica arrojaron diferencias estadísticamente significativas.
- Este experimento permite inferir que aun en un cultivo tradicional y de alta respuesta a la fertilización, el universo explorado hasta hoy –trabajos sobre NPS aplicado al suelo mediante fuentes tradicionales- es sólo una pequeña parte de las tecnologías aplicables con potencial para incrementar su rendimiento, calidad y mejorar otros aspectos agronómicos. Algunas de estas tecnologías serán singularmente relevantes en los próximos saltos de rendimiento que se obtengan en el cultivo.