



Toma de decisiones en nutrición de cultivos integrada al ambiente edáfico, clima y manejo

Gustavo N. Ferraris

Manejo de cultivos INTA, EEA Pergamino.
 Av Pte. Dr. Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino
 ferraris@gustavo.inta.gob.ar

Durante muchos años, la respuesta a la fertilización ha sido abordada como un factor individual, intentando aislar el resto de las variables de la respuesta del cultivo. Se buscaba posicionar el resto de los factores en el óptimo, de manera que no limitaran la expresión del nutriente o elemento objeto de estudio. Una aproximación más cercana introdujo el concepto de manejo sitio-específico. Bajo este paradigma, se empezó a considerar la interacción con el agua, la textura o la altimetría como factores fundamentales que interactúan y modifican la respuesta a la fertilización. El caso más representativo es el del nitrógeno (N), cuya interacción con el estado hídrico es ampliamente conocida. La decisión de manejo de N "por ambientes" en cultivos de verano implica fertilizar con dosis más elevadas los sitios con mejor disponibilidad hídrica, a excepción que la presencia de napa cercana a la superficie o un relieve excesivamente plano acerque la posibilidad de sufrir anegamientos. En cultivos de invierno, con frecuencia la limitación nutricional es superior a la hídrica, determinando mayor eficiencia de uso de los nutrientes en ambientes de baja fertilidad, aun cuando su rendimiento sea inferior a los ambientes superiores.

Una mirada actual podría considerar al ambiente como un concepto móvil y dinámico, que excede a los factores hídricos y de suelo. De este modo, la fecha de siembra – especialmente en maíz, pero también considerando la fertilización fosforada en soja-, la densidad y aun la genética podrían determinar diferentes curvas de respuesta y requerimientos de fertilización. Este enfoque de un sistema dinámico en permanente evaluación y con requerimientos de ajuste permanente durante el ciclo podría ser aplicado a otros elementos diferentes de N, especialmente aquellos de alta movilidad como azufre (S).

Trigo

En la Región Pampeana Argentina, el trigo es el cultivo de invierno que ocupa la mayor su-

perficie con 6,37 millones de ha y 18,7 millones de toneladas producidas durante la campaña 2017/18 (Fuente: Bolsa de Comercio de Rosario). El cultivo ha presentado un notable avance en genética, acompañado por un intensivo uso de tecnología, destacando entre los principales a la fertilización. Nitrogeno y fósforo (P) continúan siendo los principales elementos limitantes, no obstante, la detección de carencias de meso y micronutrientes como S o zinc (Zn). En la Región Pampeana existe abundante información para la elección de cultivares de trigo según se priorice rendimiento, calidad o sanidad. Esta información es generada a través de una red oficial sistematizada por INASE (ROET, 2019), bien complementada por un importante número de experimentos regionales. Sin embargo, poco se conoce de la interacción entre genética y nivel tecnológico. Battenfield et al. (2018) demostraron que existe respuesta diferencial a la fertilización según genotipo. Esto fue señalado en la región Norte de Buenos Aires por Ferraris y Arias Usanivaras (2018). La fertilización fosforada a su vez interactúa con la respuesta a N. La deficiencia de P reduce la eficiencia de uso de N. Al afectar la absorción total del nutriente, podría reducir el rendimiento, pero también la concentración de proteína en grano (Ferraris et al., 2017).

Durante el ciclo 2018, se condujo en la EEA INTA Pergamino un experimento de campo donde se evaluó la respuesta de cultivares de trigo y cebada a niveles crecientes y secuenciales de fertilización. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 2 repeticiones, tratamientos en arreglo factorial completo de dos variables: Fertilización (4 niveles) y Genotipo (10 niveles) resultando el diseño en 40 tratamientos. Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple de calcio (SPT) (0-20-0), Urea granulada (UG) (46-0-0) y Basfoliar Top N (BFTN) (27-11-16, δ 1,25). Todos los tratamientos recibieron 20 kg S ha⁻¹ como Sulfato de Calcio (Tabla 1). Este diseño permite identificar claramente la interacción entre genética y fertilización.

Tabla 1. Cultivares y tratamientos de fertilización evaluados en el experimento. (s): aplicación de fertilizante a la siembra. (m): aplicación de fertilizante en macollaje. (hb): aplicación de fertilizante en hoja bandera.

Cultivares	Fertilización
DM Algarrobo	T1: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
Bioceres	
Basilio	T2: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
Baguette 680	UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
SY 120	UG 120 kg ha ⁻¹ (m)
ACA 602	
ACA 909	T3: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
DM Ñandubay	BFTN 28 l ha ⁻¹ (hb)
DM Ceibo	
Klein Minerva	T4: SPT 200 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
Andreia	UG 120 kg ha ⁻¹ (m) BFTN 28 l ha ⁻¹ (hb)

En las Tablas 2 y 3 se presentan los rendimientos y concentración de proteína de las diferentes combinaciones cultivar – fertilización. Las variedades Andreia, DM Ceibo, Buck Cambá, SY 120, DM Ñandubay y DM Algarrobo compartieron el grupo de mayor rendimiento, seguidos de cerca en un segundo grupo por ACA 602. Los valores de concentración de proteína fueron satisfactorios en todos los cultivares. En orden de jerarquía,

se destacaron ACA 602 y Klein Minerva (13,4%) alcanzando la concentración superior, luego Buck Cambá (12,7 %), SY 120 (12,5 %), Bioceres Basilio (12,5 %), Baguette 680 (12,4 %) y DM Ñandubay (12,4 %). El coeficiente de variación de la concentración de proteína fue superior en T1 (7,6 %). Esto significa que, ante escasa fertilización, el efecto varietal sobre la proteína se acentúa (Tabla 3). La variedad de cebada Andreia registró la proteína mínima, y la sensibilidad (CV) máxima frente a cambios en la fertilización (Tabla 3). Aquellas variedades con menor CV serían más estables ante escasa fertilización nitrogenada o altos niveles de dilución. La variabilidad de respuesta a la fertilización entre genotipos fue reportada anteriormente por Ferraris y Arias Usandivaras (2018). Wang et al. (2018) mencionan asimismo interacción entre fertilización nitrogenada y eficiencia de uso de agua, y variabilidad genética para ambos factores.

En promedio de todos los cultivares, cada mejora en la fertilización significó un salto significativo en los rendimientos. El rendimiento medio del tratamiento base estuvo muy por debajo del potencial de la genética y el sitio (Tabla 2). Fue muy destacado el incremento para el tratamiento T2, que consideró refertilización con N60, incrementando la productividad en 1066 kg ha⁻¹ de rendimiento (Tabla 2) y 0,6 % de proteína (Tabla 3). Esto significa una eficiencia de 17,7 kg grano kg N⁻¹. La aplicación tardía de N (T3) impactó en rendimiento subiéndo en 455 kg

Tabla 2. Rendimiento de cultivares de trigo/cebada según tratamiento de fertilización. Pergamino, campaña 2018/19.

	Rendimientos (kg ha ⁻¹)				Promedio Variedad
	T1	T2	T3	T4	
DM Algarrobo	4087	4721	4260	5736	4701 abc
Bioceres Basilio	3183	3798	3519	6250	4187 cd
Baguette 680	2370	3620	3264	5231	3621 d
SY 120	3957	5135	4606	6058	4939 ab
ACA 602	4154	5163	4144	5106	4642 bc
ACA 909	3615	4404	3779	4846	4161 cd
DM Ñandubay	4135	5159	4389	6048	4933 ab
DM Ceibo	4351	5399	5048	5649	5112 ab
Klein Minerva	3250	3851	4034	4875	4002 cd
Andreia	4466	5317	5034	6827	5411 a
Buck Cambá	3692	6423	4192	5488	4949 ab
Promedio fertilizante	3751 d	4817 b	4206 c	5647 a	

ha⁻¹ y 0,3 % en proteína (Tabla 3). Finalmente, el tratamiento completo (T4) evidencia una fuerte interacción positiva N*P sobre rendimiento y calidad. El diferencial sobre T1 alcanzó a 1896 kg ha⁻¹ y 0,5% de proteína. Se sugiere que no sólo el N, sino principalmente también el P originaría este comportamiento. Duplicar la aplicación de P habría incrementado la eficiencia agronómica de uso de N (EaUN), determinada a través del incremento de rendimiento por unidad adicional de N aplicado. Esto fue mencionado por Ferraris et al. (2017), sobre un experimento de larga duración consistente en diferentes aplicaciones de P prolongadas a través del tiempo.

Las variedades podrían ordenarse de acuerdo a su tendencia a privilegiar rendimiento o la acumulación de proteína. El primer grupo lo representa en su máxima expresión la cebada y variedades como DM Ceibo, mientras que el comportamiento opuesto correspondería a Klein Minerva y, en menor medida, Baguette 680, ACA 909 o Bioceres Basilio (Figura 1). Por su parte, ACA 602, Buck Cambá, SY 120 y DM Ñandubay presentaron un comportamiento equilibrado, propio de las variedades con alta sensibilidad a manejo de la fertilización en rendimiento y calidad.

Respecto de las estrategias de nutrición, un incremento en la dosis de N (T2 – T1, T3 – T1) resultó en mejoras de rendimiento y calidad, en

una magnitud variable según la dosis aplicada (Figura 2). En cambio, T4 originó un incremento significativo en rendimiento sosteniendo calidad, demostrando interacción positiva N*P y un fuerte efecto P sobre rendimiento.

La concentración de proteína respondió a la relación Nd/ton rendimiento, ajustando a una función cuadrática – plateau (Figura 3). De acuerdo con la ecuación ajustada, si esta relación toma un valor igual o superior a 37, la concentración de proteína alcanzó un 13%. En cambio, si la relación alcanzó un valor inferior a 37, la proteína disminuyó en forma cuadrática pero siempre en valores satisfactorios (Figura 3). Ciertas variedades muestran una mayor partición a proteína y se posicionan sobre la curva de tendencia, i.e ACA 602, Klein Minerva. Otras presentan tendencia a la dilución, siempre por debajo de la función general, i.e Cebada Andreia, DM Ceibo. Finalmente, otras se alinean con buen ajuste a la curva de dilución siendo las más sensibles a manejo, como SY 120, DM Algarrobo, Buck Cambá o DM Ñandubay (Figura 3).

Concluyendo, se demuestra que los sistemas actuales se encuentran limitados en NP, mostrando una considerable respuesta al incremento de dosis, pero posiblemente también al momento de aplicación. Un correcto ajuste de dosis de NP,

Tabla 3. Concentración de proteína en grano de diferentes cultivares según tratamientos de fertilización. Pergamino, campaña 2018/19.

	Proteína (%)				Promedio Variedad	CV (%)
	T1	T2	T3	T4		
DM Algarrobo	11,4	12,7	11,8	11,8	11,9	4,3
Bioceres Basilio	12,1	12,9	12,4	12,7	12,5	3,0
Baguette 680	12,0	12,8	12,4	12,3	12,4	2,6
SY 120	12,4	12,8	12,1	12,8	12,5	2,7
ACA 602	12,9	13,4	13,6	13,7	13,4	2,7
ACA 909	11,8	12,3	12,4	12,7	12,3	3,3
DM Ñandubay	12,0	12,4	12,5	12,6	12,4	2,0
DM Ceibo	10,7	11,3	10,9	11,3	11,0	2,6
Klein Minerva	13,6	14,1	13,0	13,1	13,4	3,7
Andreia	10,4	11,8	11,0	11,1	11,1	5,2
Buck Cambá	12,4	12,0	13,2	13,0	12,7	4,3
Promedio fert	12,0	12,6	12,3	12,5		
CV (%)	7,6	6,1	6,8	6,3		

aplicado de manera secuenciada durante ciclo, pareciera la estrategia recomendable para balancear rendimiento y calidad. La concentración de proteína ajusta a una función de dilución, permitiendo construir un modelo general. Por su parte, los cultivares evidenciaron cambios en los niveles de partición, priorizando rendimiento o calidad, y diferentes grados de ajuste a la función de dilución general. El experimento demuestra que es posible elegir variedades con buen comportamiento en rendimiento y concentración de proteína, pero estas son las más sensibles a un manejo ajustado.

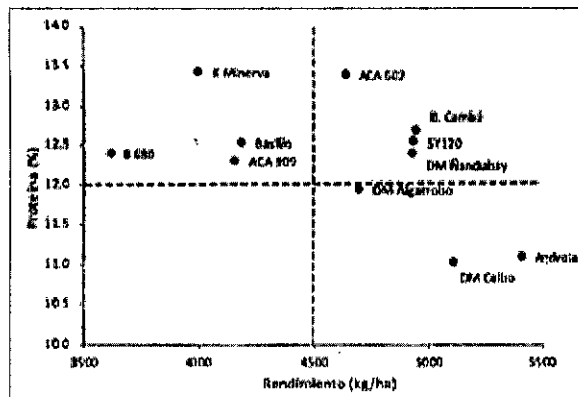


Figura 1. Relación entre concentración de proteína (%) y rendimiento (kg ha⁻¹) para cada uno de los cultivares evaluados, promedio de 4 tratamientos de fertilización. EEA INTA Pergamino, año 2018/19.

Maíz

El maíz es un cultivo con gran potencial productivo y con alta exigencia de factores de producción. Esta sensibilidad a la oferta de recursos determina una considerable brecha de rendimiento entre los actuales y alcanzables a campo. El concepto de brecha de rendimiento ha sido descrito por Fischer (2015). Se estima que esta brecha entre los rendimientos actuales y los alcanzables a campo, con la tecnología hoy disponible, alcanza en la región núcleo pampeana un rango entre 4 y 5 t ha⁻¹ (Monzón, 2015), la

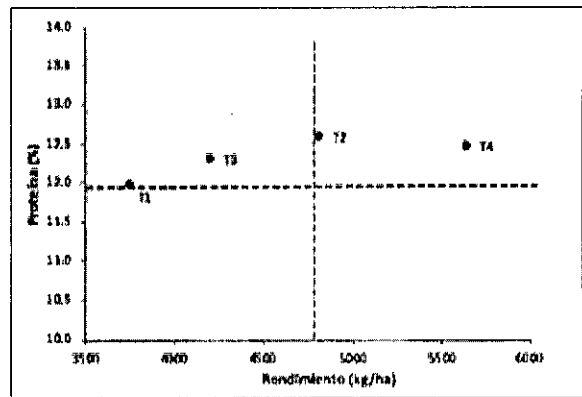


Figura 2. Relación entre concentración de proteína (%) y rendimiento (kg ha⁻¹) según tratamientos de nutrición, promedio de diez cultivares de trigo y uno de cebada cervecera. EEA INTA Pergamino, año 2018/19.

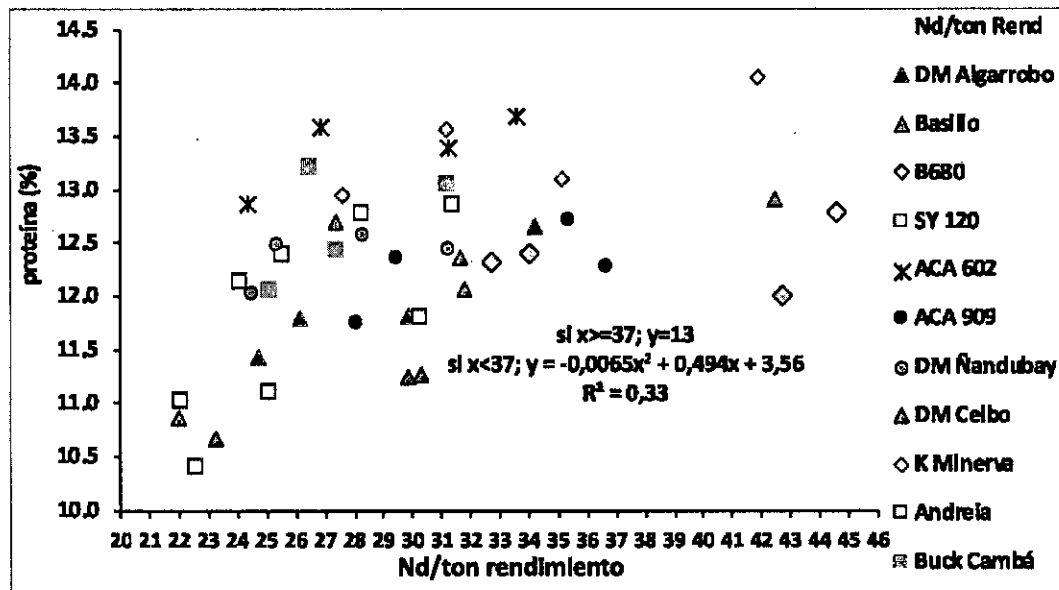


Figura 3. Relación entre concentración de proteína (%) y Nitrógeno disponible por tonelada de rendimiento cosechado (Nd ton⁻¹), promedio de 4 tratamientos de fertilización. Cada punto es promedio de dos repeticiones. EEA Pergamino, año 2018/19.

cual podría ser superior a la observada en otras regiones del mundo (Sadras et al., 2015; Guilpart et al., 2017). Los rendimientos actuales expresan una considerable tasa de ganancia (Fischer, 2015), que en Argentina está relacionada con la intensificación tecnológica y se ve favorecida por escenarios de buenas precipitaciones (Aramburu Merlos et al., 2015). Sin embargo, esta tasa debería ser incrementada para alcanzar los niveles deseados de producción de alimentos. Como alternativa para cerrar estas brechas de rendimiento, se ha propuesto una mejora conjunta e interdisciplinaria de los sistemas de producción, más que el ajuste de prácticas individuales de cultivo (Guilpart et al., 2017). En Argentina, buena parte de las brechas de rendimiento se explican a causa de deficiencias nutricionales, como consecuencia de una agricultura tradicionalmente extractiva.

Durante las campañas agrícolas 2015-16, 2016-17 y 2017-18, se realizaron experimentos de campo destinados a cuantificar el efecto de la fertilización nitrogenada, fertilización con zinc, densidad con alto y bajo nivel de insumos y el control de enfermedades foliares sobre el rendimiento de maíz, así como la brecha total de productividad entre un sistema básico y uno optimizado. Todos los tratamientos recibieron fertilización fosforada sin restricciones (P) y una dosis básica consistente en 55 kg N ha⁻¹ a la siembra (N) (Tabla 4). Los ensayos se realizaron en fecha

de siembra temprana, tardía y de segunda, con un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones.

Los niveles de los factores evaluados se presentan en la Tabla 4. Los niveles de los factores fueron **densidad:** 60 mil y 80 mil plantas ha⁻¹; **fertilización de base:** superfosfato triple de calcio 100 kg ha⁻¹ y urea 120 kg ha⁻¹; **fertilización en V6:** urea 150 kg ha⁻¹; **fungicida:** azoxistrobina (20%) + cyproconazole (8%) 500 ml ha⁻¹; **micronutrientes:** (Zn foliar 500 g ha⁻¹). Se evaluó un esquema aditivo, agregando tecnologías (T2, T3, T4, T5) sobre un tratamiento base (T1), y sustitutivo, restando tecnologías (T6, T7, T8, T9) respecto de uno completo (T10). Se calculó la contribución de cada tecnología como un promedio de la diferencia de rendimiento en baja producción $(T_n - T1)/T1 * 100$ y en alta producción $(T10 - T_n)/T_n * 100$. El efecto densidad se calculó con un mínimo de insumos, baja tecnología, $(T6 - T1)/T1$ y un aporte completo el alta tecnología $(T10 - T5)/T5$. La brecha de rendimiento se calculó entre el tratamiento completo y el base $(T10 - T1)/T1$.

Aunque todos los factores de producción evaluados presentaron un efecto positivo, ninguno tomado individualmente mostró un efecto determinante. La brecha global de rendimiento fue superior en los maíces de segunda, luego de una gramínea invernal. Este resultado se explica en carencias nutricionales, especialmente de N (Fi-

Tabla 4. Experimento de brechas de rendimiento en maíz. Factores de producción involucrados.

	Densidad	Fertilización base	Fertilización V6	Fungicida	Micronutrientes
Baja					
T1	60000	PN			
T2	60000	PN	N		
T3	60000	PN		Si	
T4	60000	PN			Si
T5	60000	PN	N	Si	Si
Alta					
T10	80000	PN	N	Si	Si
T9	80000	PN	N	Si	
T8	80000	PN	N		Si
T7	80000	PN		Si	Si
T6	80000	PN			

gura 4), cuyo aporte por refertilización incrementó la productividad media en un 20%. Sin embargo, la brecha global de rendimiento alcanzó un 35%, evidenciando la importancia de un abordaje sistémico para incrementar los rendimientos, así como la también la necesidad de sumar factores de producción con este objetivo, lo cual resultaría de mayor impacto en comparación con incrementar excesivamente los niveles de un solo factor. En cultivos de siembra temprana, la brecha global fue de un 30%, aportando la refertilización con N incrementos en un rango de 10% a 15%, la duplicación en dosis de P un 5% a 7%, y el uso de S más Zn 7,7%. En los recuadros negros de la Figura 4 se señala el sistema en el cual una determinada tecnología expresa mayor impacto. Claramente, las limitaciones nutricionales tienen mayor importancia en sistemas de siembra temprana o de segunda. Aun en un mismo sitio, la prolongación del barbecho y los mayores temperaturas que acompañan las siembras tardías favorecen el aporte de nutrientes desde el suelo determinando una base superior de rendimientos en aquellos tratamientos con escasa fertilización.

Los resultados de la presente red experimental resaltan la necesidad de un abordaje sistémico con el fin de incrementar los rendimientos a nivel de toda la región. La mejora de prácticas aisladas tuvo en cambio un impacto moderado y soslaya las Interacciones entre variables. Aun variables consideradas relevantes, como el cambio en la densidad o la fertilización nitrogenada, se diluyen cuando se promedian los efectos de varios sitios. Por otra parte, la determinación de los niveles en que diferentes variables optimizan la productividad es de suma importancia con una proyección y planificación a futuro, ya que el máximo productivo de hoy suele ser el óptimo económico en un futuro cercano.

Asimismo, en la Figura 5 se presenta la interacción entre localidad, fecha de siembra, densidad y respuesta a la fertilización nitrogenada. En Pergamino, ambiente de buen rendimiento medio, la respuesta fue superior en la fecha de siembra temprana, por su menor contenido de N inicial en el suelo. El incremento en la densidad determinó un mayor rendimiento y competencia inter-planta, ajustando a una función de mayor pendiente (Figura 5). Por el contrario, en la localidad de Ramallo, un sitio de menor productividad

Ensayo Brechas x tecnologías 2015/16 - 2017/18			
Factores	Temprano	Tardío	Segunda
Genética	15,5 %	10 %	8 %
Doble P	5-7 %	0-2 %	0-2 %
Refertiliz.N	10-15 %	5-7 %	20 %
SANIDAD	6,3 %	8,0 %	6,2 %
DENS (óptimo)	8,0 %	3,8 %	1,2 %
DENS (mínimo)	9,3 %	2,5 %	-1,8 %
Azufre + Zinc	7,7 %	3,5 %	7,6 %
BRECHA TOTAL	30 %	20 %	35 %

Genética: R. Máx vs R. Medio
 P: P 20 (s) vs P40 (s)
 N: 60 (s) vs 60 (s) + 60 (V6)
 Densidad: 60 vs 80 mil plantas
 Sanidad y S + Zn: Con vs Sin

El rendimiento alcanzable al poco tiempo es el óptimo

Figura 4. Brecha global de rendimiento según sistema productivo en maíz, y contribución relativa de diferentes factores de producción. Maíz en siembra temprana, tardía y de segunda, campañas 2015/16, 2016/17 y 2017/18.

y mayor adaptación a siembras tardías, la mayor EUN y respuesta a la fertilización correspondió a este sistema de siembras diferidas. Esto evidencia la prevalencia de la productividad del sitio –demanda- por sobre el contenido de N en el suelo – oferta- entre los factores que explican la respuesta a N. Como sucediera en Pergamino, altas densidades se asociaron a elevada respuesta a la fertilización. Este comportamiento fue propio de un cultivar con alta eficiencia de uso del N externo y elevada respuesta a la fertilización – genotipo “sensible”. Otros cultivares de comportamiento más estable mostraron curvas de respuesta más aplanadas y saturación a dosis inferiores.

Soja

Los rendimientos de soja dependen del germoplasma de la variedad, el manejo y el am-

biente en el que se desarrolla el cultivo (Ferraris et al., 2014; Ferraris y Díaz Zorita, 2015; Ferraris y Mouségne, 2016). Este último se caracteriza por aspectos propios del sitio y sólo modificables en el largo plazo (suelo) y otros factores que manifiestan una variabilidad interanual (clima). El manejo forma parte del ambiente, siendo los factores más determinantes el grupo de maduración (GM) y la fecha de siembra (FS).

Tradicionalmente se ha asociado la respuesta a la fertilización en soja con variables de suelo como el nivel de fósforo (P) disponible, el contenido de materia orgánica y azufre (S) extractable (Ferraris et al., 2016), o de planta como la concentración absoluta, relativa o curvas de dilución de nutrientes en biomasa (Divito et al., 2016). No obstante, en igual condición de fertilidad, el cultivo podría expresar una respuesta diferencial según diferentes aspectos de manejo que

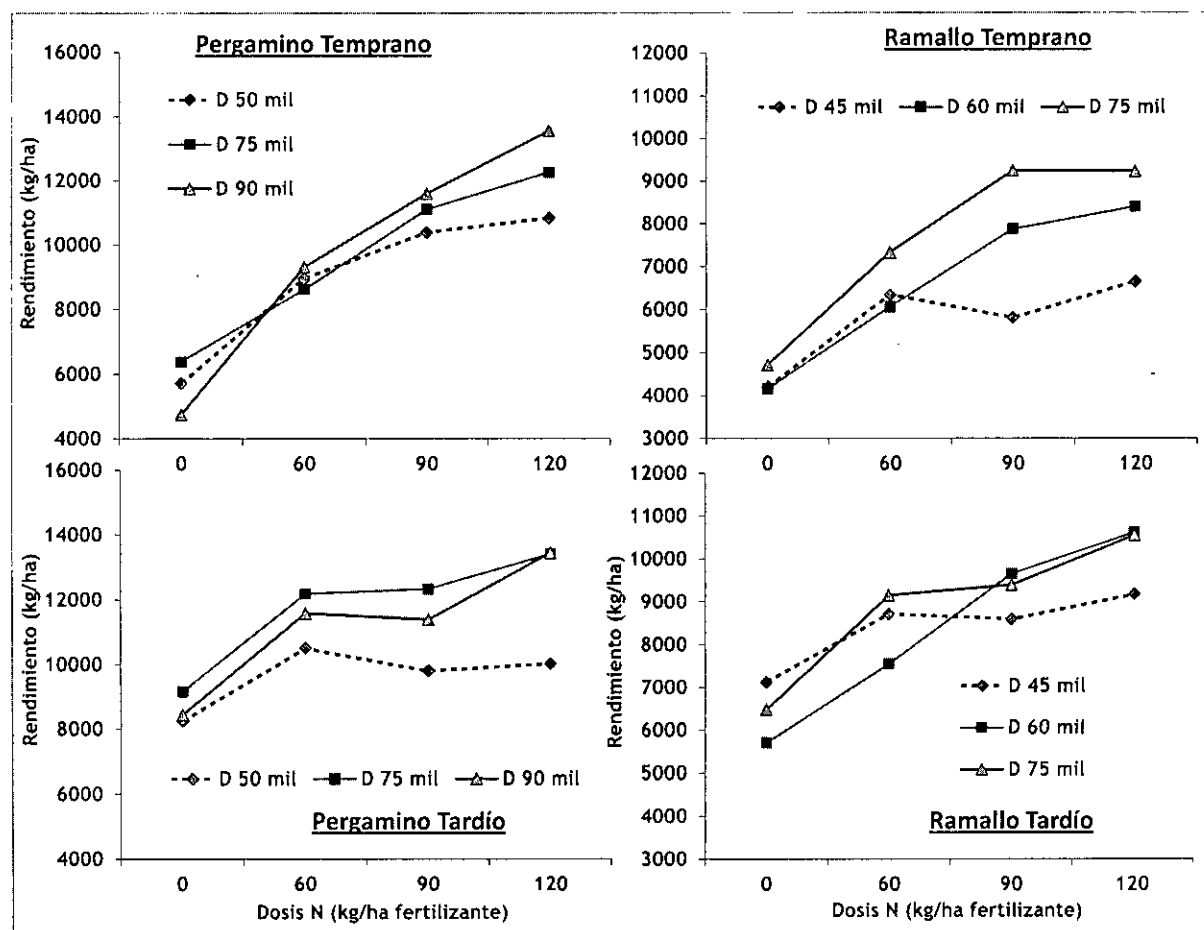


Figura 5. Relación entre rendimiento y dosis de nitrógeno agregado como fertilizante (kg N ha⁻¹) para diferentes densidades de plantas logradas. Localidades de Pergamino (izquierda) y Ramallo (derecha), en siembras tempranas (arriba) y tardías (debajo). Campaña húmeda 2016/17, en un cultivar de alta respuesta media a la fertilización.

modulan la oferta de radiación, temperatura y agua durante el período crítico, la acumulación de biomasa y el índice de cosecha. Este abordaje integral de la práctica, considerando la fertilización como una herramienta más para no limitar la productividad del cultivo fue utilizado en reiteradas ocasiones en otros países relevantes para la producción de soja, como EE.UU. (Orlowski et al., 2016, Edreira et al., 2017, Adams et al., 2018) o Brasil (Moreira et al., 2017; Battisti et al., 2018a y b). La interacción entre cultivar, fecha de siembra y fertilización podría afectar no sólo los rendimientos, sino también la calidad de los granos cosechados (Junior et al., 2017; Suman et al., 2018).

En un trabajo conducido en la EEA INTA Pergamino durante las campañas 2016/17 (húmeda) y 2017/18 (muy seca) se analizó la variabilidad de la respuesta a la fertilización completa, con PS y micronutrientes según el año climático, GM y FS (Tabla 5). Se postula que la respuesta a la fertilización es afectada por variables de suelo (Singh et al., 2018) pero también de cultivo (Ferraris y Moussegne, 2016; Rotundo y Borrás, 2013), limitando la posibilidad de establecer recomendaciones generales. Se propone realizar recomendaciones de fertilización sitio-específicas, integrando aspectos como reserva hídrica inicial, pronóstico climático, FS y GM. Una adecuación en las condiciones de manejo significa, para un mismo nivel de fertilidad, una mejora en la expectativa de respuesta positiva al agregado de nutrientes.

Así como en las precipitaciones, se observó un claro contraste en la tendencia de rendimientos entre campañas (Figuras 6 y 7). En 2016/17 los rendimientos alcanzaron a 4376 y 4836 kg ha⁻¹ para siembra temprana y tardía, mientras que

en 2017/18 fueron de menor envergadura a consecuencia de la sequía, llegando a 4811 y 3055 kg ha⁻¹ para igual distribución de FS, respectivamente.

Analizando las combinaciones de tratamientos, se verifica que aun cuando la fertilidad química del sitio es uniforme, la respuesta al agregado de PS + ZnB es muy diferente según combinación de FS y GM. En 2016/17, el rango de rendimientos entre mínimo y máximo alcanzó a 2017 kg ha⁻¹, dando gran importancia a las combinaciones de manejo. Los rendimientos superiores de la fecha tardía se explicarían por una escasez incipiente de precipitaciones hasta finales de diciembre. La variedad de longitudes de ciclo, con algunos de ellos muy cortos, permitiría explorar ambientes de alto potencial de rendimiento aun en siembras de diciembre. La respuesta a la fertilización puede variar desde 0 a 1222 kg ha⁻¹. En promedio de otros factores, se determinó mayor respuesta en FS temprana - 810 vs 275 kg ha⁻¹ -. Sólo el GM Vc evidenció escasa respuesta. En cambio, en FS tardía sucedió lo inverso, las mejores respuestas se verificaron en longitudes de ciclo medias, como los GM IVc y IVL (Figura 6). La FS tardía estabiliza el rendimiento, pero restringe la respuesta a la fertilización, mientras que FS temprana y GM corto se traducen en mayor variabilidad en los rendimientos (Figura 6).

En la segunda campaña, 2017/18, la interacción entre variables se verifica de manera aún más pronunciada, en función de la sincronía entre período crítico y ocurrencia de precipitaciones. En 2017/18, el rango de rendimientos se amplió respecto del ciclo anterior, llegando a 3599 kg ha⁻¹. La respuesta a la fertilización osciló entre 0 y 554 kg ha⁻¹. Nuevamente, se determinó mayor respuesta a la fertilización en FS temprana

Tabla 5. Tratamientos de fertilización en soja evaluados en los experimentos. Campañas 2016/17 (húmeda) y 2017/18 (muy seca). FS: temprana (inicios noviembre) y tardía (inicios diciembre).

		Fertilización	
		Control	P 20 + S 15 + Zn 0,7 + B 0,1
Grupo Maduración	GM III C	X	X
	GM III L	X	X
	GM IV C	X	X
	GM IV L	X	X
	GM V C	X	X

P20: Superfosfato Triple de calcio (0-20-0) 100 kg ha⁻¹;
S15: Sulfato de calcio (0-18-0) 83 kg ha⁻¹

na, aunque las diferencias fueron más escasas respecto de la campaña previa, siendo de 337 y 206 kg ha⁻¹ para FS temprana y tardía, respectivamente (Figura 7).

Considerando la respuesta a la fertilización y su interacción con FS y GM, en la FS temprana los mejores incrementos de rendimiento por agregar PS+Micro nutrientes se observaron en los grupos intermedios, IIIc, IVc y VL, mientras que disminuyó en los extremos, IIc y Vc. La segunda fecha, de menor productividad, presentó nuevamente un comportamiento diferencial. Los ciclos más cortos, que conservaron agua en el suelo hacia el llenado de los granos, mostraron una respuesta similar a la siembra temprana. Sin embargo, y conforme avanzaba el ciclo, el cultivo fue ingresando en un progresivo estrés hídrico, que afectó en mayor medida a los GM más largos. La respuesta disminuyó levemente hacia el GM IVc, desplomando a valores mínimos o nulos en los GM IVL y Vc. Sólo en combinaciones favorables de FS * GM se determinó respuesta positiva a la fertilización. Un GM poco adaptado significó no sólo condicionar la respuesta, sino también una grave penalidad en los rendimientos.

En definitiva, la diversidad existente en fertilidad de suelos, clima y variabilidad de precipitaciones determina cambios interanuales y sitio-específicos en la jerarquía y comportamiento de GM, FS y nivel de fertilización. Aun en escenarios edáficos similares, la respuesta a la fertilización estuvo condicionada por la constitución de un buen ambiente climático, estando en el borde de la

interacción estadística y con interacción práctica con Año y GM. Esta aproximación constituye una novedad en el manejo de nutrientes para soja, cuyo diagnóstico tradicionalmente se ha basado en parámetros de suelo.

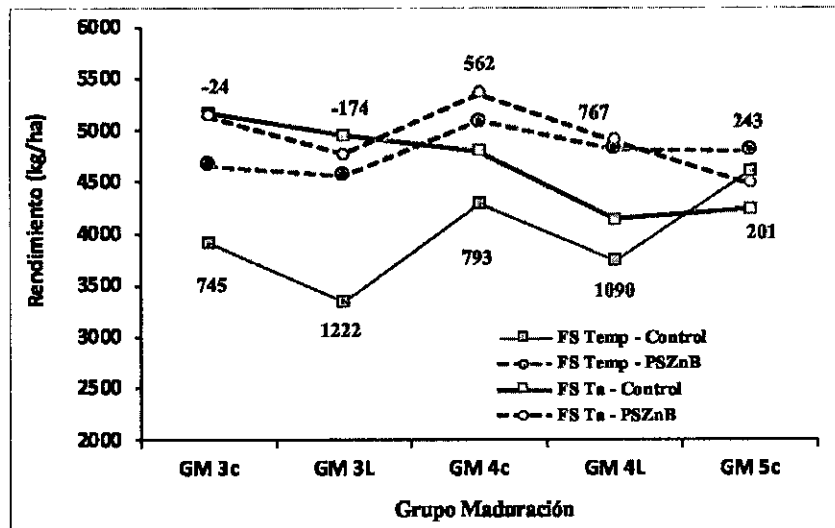


Figura 6. Rendimientos de grano según fecha de siembra (FS), grupo de maduración (GM) y nivel de fertilización. EEA INTA Pergamino, campaña 2016/17. Las cifras sobre los puntos indican la diferencia (kg ha⁻¹) entre fertilizado con PS + ZnB y Control, para igual GM y FS. El componente año representa un ambiente que integra el año climático, sitio y nivel inicial de nutrientes en suelo.

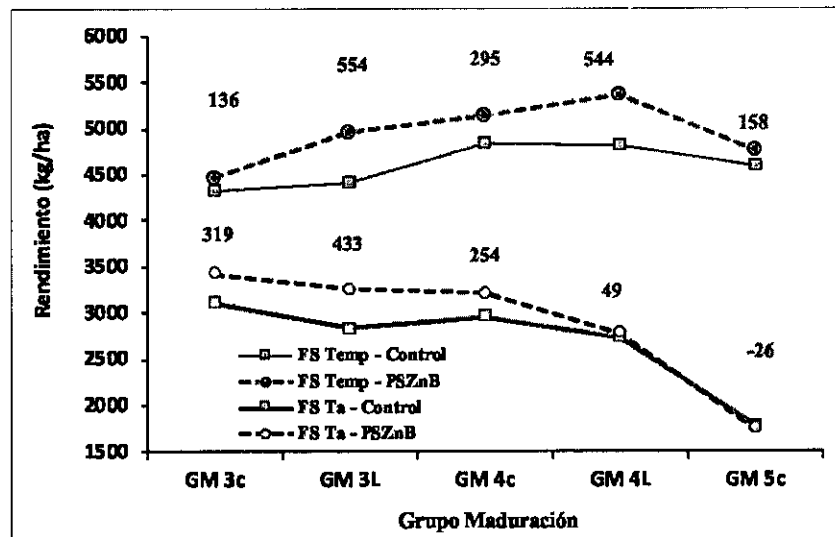


Figura 7. Rendimientos de grano según fecha de siembra (FS), grupo de maduración (GM) y nivel de fertilización. EEA INTA Pergamino, campaña 2017/18. Las cifras sobre los puntos indican la diferencia (kg ha⁻¹) entre fertilizado con PS + ZnB y Control, para igual GM y FS. El componente año representa un ambiente que integra el año climático, sitio y nivel inicial de nutrientes en suelo.

Bibliografía

- Adams, T. C., Brye, K. R., Purcell, L. C., Ross, W. J., Gbur, E. E., & Savin, M. C. 2018. Physiological Plant Response Differences among High-and Average-Yield Soybean Areas in Arkansas. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 4(1).
- Aramburu Merlos, F. A., Monzon, J. P., Mercáu, J. L., Taboada, M., Andrade, F. H., Hall, A. J. & Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*, 184, 145-154.
- Battenfield, S. D., Guzmán, C., Gaynor, R. C., Singh, R. P., Peña, R. J., Dreisigacker, S., & Poland, J. A. 2016. Genomic selection for processing and end-use quality traits in the CIMMYT spring bread wheat breeding program. *The plant genome*, 9(2).
- Battisti, R., Sentelhas, P. C., Parker, P. S., Nendel, C., Gil, M. D. S., Farias, J. R., & Basso, C. J. 2018.a. Assessment of crop-management strategies to improve soybean resilience to climate change in Southern Brazil. *Crop and Pasture Science*, 69(2), 154-162.
- Battisti, R., Sentelhas, P. C., Pascoalino, J. A. L., Sako, H., de Sá Dantas, J. P., & Moraes, M. F. 2018.b. Soybean Yield Gap in the Areas of Yield Contest in Brazil. *International Journal of Plant Production*, 1-10.
- Divito, G. A., Echeverría, H. E., Andrade, F. H., & Sadras, V. O. 2016. Soybean shows an attenuated nitrogen dilution curve irrespective of maturity group and sowing date. *Field Crops Research*, 186, 1-9.
- Edreira, J. I. R., Specht, J. E., Grassini, P., Mourtzinis, S., Conley, S. P., Roth, A. C., & Kyveryga, P. M. 2017. Key Management Practices That Explain Soybean Yield Gaps Across the North Central US. In *Integrated Crop Management Conference* (p. 13).
- Ferraris, G. N., & Arias Usandivaras, L. M. 2018. Respuesta diferencial a estrategias de nutrición en cultivares de trigo y cebada cervecera. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA EEA Pergamino. Vol 10, N°36
- Ferraris, G. y F. Mousegne. 2016. La nutrición como herramienta para alcanzar los rendimientos potenciales en soja. Ambiente productivo, fertilización y rendimiento de distintos grupos de madurez en soja. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, INTA EEA Pergamino. RTA / Vol. 10 / N° 32. pp 11-15.
- Ferraris, G. y M. Díaz Zorita. 2015. Variación del rendimiento y sus componentes en dos fechas de siembra de soja según nivel tecnológico. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, INTA EEA Pergamino. N°1: pp 34-37.
- Ferraris, G., García, L., Navarro, M. 2014. La nutrición como herramienta para alcanzar los rendimientos potenciales en soja. Comisión III. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas" Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.
- Ferraris, G.N, M. Toribio, R. Falconi y F. Moriones. 2017. Estrategias de fertilización: efectos sobre rendimientos, balance de nutrientes y fertilidad de los suelos. *ACTAS Resumen de Talleres. XXIV Congreso AAPRESID 2017. "Kairos"*. Rosario, 1 a 4 de Agosto de 2017.
- Fischer, R.A. 2015. Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. *Field Crops Res.* 182, 9-18.
- Guilpart, N., Grassini, P., Sadras, V. O., Timsina, J., & Cassman, K. G. 2017. Estimating yield gaps at the cropping system level. *Field Crops Research*, 206, 21-32.
- Junior, C. P., Kawakami, J., Schwarz, K., Umburanas, R. C., Del Conte, M. V., & Müller, M. M. L. 2017. Sowing Dates and Soybean Cultivars Influence Seed Yield, Oil and Protein Contents in Subtropical Environment. *Journal of Agricultural Science*, 9(6), 188.
- Monzón, J.P. 2015. Atlas Mundial de Brechas de Rendimiento: Trigo, soja y maíz en Argentina. pp 55-59. En: *Actas Simposio Fertilidad 2015 "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro"*, IPNI Cono Sur – AC Fertilizar. Rosario, 19 y 20 de Mayo de 2015. 252 pp.
- Monzón, J.P., Mercáu, J.L., Andrade, J.F., Caviglia, O.P., Cerrudo, A.G., Cirilo, A.G., Vega, C.R.C., Calvino, P.A., 2014. Maize-soybean intensification alternatives for the Pampas. *Field Crops Res.* 162, 48-59.
- Moreira, A., Moraes, L. A. C., Schroth, G., Becker, F. J., & Mandarino, J. M. G. 2017. Soybean yield and nutritional status response to nitrogen sources and rates of foliar fertilization. *Agronomy Journal*, 109(2), 629-635.
- Orlowski, J. M., Haverkamp, B. J., Laurenz, R. G., Marburger, D., Wilson, E. W., Casteel, S. N., & Ross, W. J. 2016. High-input management systems effect on soybean seed yield, yield components, and economic break-even probabilities. *Crop Science*, 56(4), 1988-2004.
- Orlowski, J. M., Haverkamp, B. J., Laurenz, R. G., Marburger, D., Wilson, E. W., Casteel, S. N., & Ross, W. J. 2016. High-input management systems effect on soybean seed yield, yield components, and economic break-even probabilities. *Crop Science*, 56(4), 1988-2004.
- ROET. 2019. Red oficial de ensayos territoriales de Trigo. INASE. Disponible on line: <https://www.argentina.gob.ar/inase/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/campana-20182019>.
- Rotundo, J., Borrás, L. 2013. ¿Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja? La visión ecofisiológica. pp 36 - 37. Simposio Fertilidad 2013 "Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable". Rosario, 22 y 23 de Mayo de 2013.
- Sadras, V.O., Cassman, K.G., Grassini, P., Hall, A.J., Bastiaansen, W.G.M., Laborte, A.G., Milne, A.E., Sileshi, G., Steduto, P. 2015. Yield Gap Analysis of Rainfed and Irrigated Crops: Methods and Case Studies. (Water Reports No. 41). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome
- Singh, S., Singh, V., Shukla, R. D., & Dubey, D. 2018. Influences of sulphur and zinc levels on soybean and residual effect on succeeding crop in soybean-wheat cropping system. *IJCS*, 6(3), 1130-1134.
- Suman, J., Dwivedi, B. S., Dwivedi, A. K., & Pandey, S. K. 2018. Interaction Effect of Phosphorus and Sulphur on Yield and Quality of Soybean in a Vertisol. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(3), 152-158.
- Wang, L., Paita, J. A., Chen, W., Chen, Y., & Deng, X. 2018. Nitrogen fertilization improved water-use efficiency of winter wheat through increasing water use during vegetative rather than grain filling. *Agricultural Water Management*, 197, 41-53. ◀