

Integrando estrategias de manejo de cultivo y fertilización para reducir las brechas de rendimiento en soja en región pampeana

Juan Martín Enrico^{1*}, Fernando García², Mike Stewart², Guillermo Balboa³, Ignacio Ciampitti³ y Fernando Salvagiotti¹

- *Para reducir las brechas de rendimiento en soja se deben conocer y aplicar las mejores prácticas de manejo (MPM).*
- *Los procesos que ocurren en la etapa de cuajado y llenado de las semillas fueron los más afectados por el efecto conjunto de intensificación del manejo y uso de nutrientes, indicando que toda práctica de intensificación del manejo del cultivo de soja debe ser acompañada de un manejo efectivo y eficiente de la nutrición del cultivo para optimizar el uso de los recursos.*
- *Si bien las estrategias de intensificación incrementaron el consumo de nutrientes, muchas veces redujeron el requerimiento interno, con lo cual para una misma o menor cantidad de nutriente absorbido se obtuvo mayor rendimiento.*

Introducción

El aumento de la producción de los cultivos, la maximización de la eficiencia del uso de los recursos y la reducción de los impactos ambientales en el agro-ecosistema son los principales objetivos de la intensificación sostenible de la agricultura. Para lograrlos es necesario desarrollar conocimientos que permitan comprender los procesos involucrados en incrementar la producción del sistema en forma sustentable: la producción potencial de biomasa, su partición a las estructuras reproductivas, la eficiencia en el uso de los recursos (agua, luz, nutrientes) y la magnitud de las brechas entre prácticas de producción frecuentemente utilizadas en una determinada área con respecto a aquellas recomendadas para un uso más eficiente de los recursos e insumos.

El Rendimiento potencial (RP) de la soja está determinado genéticamente, aunque es difícil que se pueda observar a campo, aun suponiendo que no hay limitaciones en el suministro de agua y nutrientes y en ausencia de factores limitantes del rendimiento (por ejemplo, insectos y enfermedades). Por lo tanto, es más adecuado hablar del Rendimiento máximo (RM) que se pueda obtener en determinadas condiciones de manejo. En condiciones de secano (donde el agua es el factor más limitante), el RM puede definirse como el Rendimiento máximo en secano (RMS). Las prácticas de manejo de los cultivos (por ejemplo, espaciamiento entre hileras, fecha de siembra, densidad de plantas, o genotipo utilizado) determinarán diferentes brechas de rendimiento entre el manejo más frecuente y el recomendado para altos rendimientos (Manilla y Salvagiotti, 2013). En general es aceptado que cuando la brecha es inferior al 20% (i.e. 80% del RMS), es más difícil encontrar aumentos en el rendimiento todos los años (Lobell, et al., 2009). Por otra parte, en los lotes de producción existen deficiencias nutricionales

que deben ser corregidas para poder acercarse al RMS. Estas deficiencias, que son propias de cada lote, pueden ser caracterizadas con herramientas como los análisis de suelos y tejido. En la región pampeana argentina, son conocidos los déficits generales de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) o de micronutrientes como el zinc (Zn) (Salvagiotti et al., 2012; 2013; 2017; Barbieri et al., 2017).

En los últimos años diferentes estudios han mostrado que diversas prácticas de manejo incrementan la producción en soja, por ejemplo, la reducción del espaciamiento entre surcos (Rizzo et al., 2009; Bacigaluppo et al., 2011; Martignone et al., 2011), la correcta elección del genotipo (Bacigaluppo et al., 2013), o la siembra en fechas más tempranas (Mercau et al., 2004; Enrico et al., 2013). En consecuencia, para poder reducir las brechas de rendimiento en un lote determinado es menester conocer y aplicar las Mejores prácticas de manejo (MPM).

El objetivo de este estudio fue cuantificar las brechas de rendimiento en soja entre la estrategia de Manejo de cultivo (MC) y Manejo de nutrientes (MN) más utilizada y asociada con un mayor nivel de intensificación y explorar variables fisiológicas asociadas al mismo.

Materiales y métodos

Dos experimentos de evaluación de estrategias de manejo de cultivo y fertilización fueron sembrados en las campañas 2014-15 y 2015-16 en Oliveros, Santa Fe, Argentina (32° 33'S, 60° 51'O) bajo condiciones de secano. En cada año se evaluaron cuatro tratamientos: Prácticas de manejo más frecuentes (PF), Fertilización por recomendación (FR), Intensificación del manejo (IM) e Intensificación del manejo y la fertilización (IMF). En los tratamientos PF y FR, el manejo del cultivo de soja se caracterizó por decisiones más conservadoras: uso de un genotipo ampliamente utilizado en la zona en los

¹ INTA EEA Oliveros

² IPNI - International Plant Nutrition Institute. Programa Cono Sur de Latinoamérica. Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

³ Kansas State University

* Autor de contacto. Correo electrónico: enrico.juan@inta.gob.ar

últimos años, sembrado a mediados de noviembre con un distanciamiento entre hileras de 52 cm. Por otro lado, en los tratamientos IM e IMF, se evaluó un manejo más intensivo dirigido a maximizar el rendimiento, considerando simultáneamente la reducción en el espaciamiento entre surcos, y el uso de un genotipo con mayor potencial de rendimiento y sembrado más temprano (fines de octubre - principios de noviembre). Respecto a las estrategias de fertilización, en FR e IMF se inoculó y fertilizó la soja con agregado de P y S (20 kg de cada nutriente por ha y año) aplicados al voleo en invierno, siguiendo las recomendaciones del INTA, utilizando boro durante el estadio R2; (Fehr y Caviness, 1977) y N en etapas reproductivas. En cambio, IM y PF no recibieron fertilización ni inoculación. Por lo tanto, los cuatro tratamientos fueron una combinación de 2 estrategias de manejo y 2 de fertilización (**Tabla 1**). Todos los tratamientos se organizaron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se aplicaron herbicidas, insecticidas y fungicidas dependiendo de la presencia de malezas, insectos y enfermedades (**Tabla 1**).

En los estadios R2, R5, y R7 se determinó la biomasa (expresada en Materia seca, MS) y se calculó la tasa de crecimiento del cultivo (TCC, $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) en el periodo crítico para la determinación del número de semillas en soja (R2-R5). Además, durante el crecimiento vegetativo (E-R1) y los periodos reproductivos, R2-R5 y R5-R7, se midió el Índice de área foliar (IAF). Para analizar las variables asociadas a la definición del Número de Semillas (NS) se utilizó la aproximación de Rotundo et al. (2012) que tiene en cuenta la duración del periodo reproductivo temprano (R2-R5; días), la partición de biomasa a estructuras reproductivas (CP, la fracción de la biomasa reproductiva en R5 acumulada R2-R5) y la eficiencia de cuajado (**Ec. 1**; número de semillas por kg biomasa reproductiva en R5):

$$\text{NS (sem ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{TCC}_{\text{R2-R5}} (\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}) \times \text{Duración}_{\text{R2-R5}} (\text{d}) \times \text{CP (fracción)} \times \text{EC (sem kg}^{-1}\text{)}}{\text{Ec. 1}}$$

A madurez comercial, se realizó la cosecha en un área de 6 m² (el rendimiento fue ajustado a 13% humedad comercial) y se determinó número de semillas, peso unitario de semilla, número de nudos fértiles y frutos por nudo fértil en tallo principal. Las distintas estructuras de biomasa (hojas, tallos, carpelos y semillas) de R7 fueron molidas y se determinó la concentración de N a través de micro-Kjeldahl (Nelson y Summers, 1973) y la de P, S, B y Zn a través de espectrometría de plasma (ICP-OES). Se calculó el índice de cosecha de cada nutriente (IC) como la relación entre el contenido de los mismos en las semillas en relación al total del nutriente absorbido. El requerimiento interno de los nutrientes (kg nutriente por tonelada de rendimiento) se calculó dividiendo el contenido total de nutrientes en base seca por el rendimiento (corregido al 13%).

Condiciones meteorológicas durante las campañas 2014-15 y 2015-16

En la temporada 2014-15, las precipitaciones durante el ciclo de cultivo (Emergencia - R7) fueron 633 y 574 mm para los tratamientos de siembra temprana (IM e IMF) y tardía (PF y FR), respectivamente. Estos valores fueron 40% y 25% superiores a los normales de acuerdo al registro histórico (1971-2014) para la siembra temprana y la tardía, respectivamente. En consecuencia, se registraron balances atmosféricos (precipitación - ETP) positivos para ambos manejos.

En la temporada 2015-16, las precipitaciones durante el ciclo de cultivo fueron 719 y 697 mm para los tratamientos de siembra temprana y tardía, respectivamente, que fueron 43% mayores que los valores históricos (**Figura 1**). Durante el periodo de crecimiento de las semillas (R1-R5), el balance atmosférico fue positivo o ligeramente negativo para las dos alternativas de manejo en 2014-15, y fue negativo para ambas estrategias en 2015-16. Durante el periodo de llenado de semillas (R5-R7), en ambas campañas, el balance atmosférico fue positivo, de mayor magnitud en 2015-16.

Condiciones del suelo

El análisis inicial de suelo en ambos lotes mostró valores de suelos típicamente degradados en el área sur de Santa Fe. La materia orgánica fue de alrededor del 2% y el pH fue de 5.3 y 5.2 para las campañas 2014-15 y 2015-16, respectivamente. Por otra parte, los dos lotes presentaron contenidos contrastantes de P, con valores elevados en 2014-15 (29 ppm) y más cercanos al umbral crítico para el 2015-16 (15 ppm; Salvagiotti et al., 2013).

Resultados y discusión

Crecimiento del cultivo e Índice de área foliar (IAF)

La producción de MS promedio en R2 de los tratamientos de mayor intensificación (IM e IMF) fue 49% significativamente superior, respecto de PF. Esta diferencia significativa ($p < 0.01$) seguramente está relacionada con el menor espaciamiento entre surcos que produjo una más rápida acumulación de MS. Sin embargo, al inicio del llenado de semillas la producción de MS en las distintas estrategias fue similar ($p > 0.13$), con tendencia a una mayor producción de MS ($p = 0.08$) en las estrategias de manejo, por efecto de la aplicación de fertilizantes (**Figura 2**). A madurez fisiológica, los tratamientos IM e IMF alcanzaron biomasa superiores a los 10 000 kg ha^{-1} , superando a PF y FR en un 24%, aunque existió interacción año (A) x tratamiento (T), explicada por la mayor magnitud de las diferencias observadas en la campaña 2015-16 ($p = 0.08$) (**Tabla 2**).

La evolución del IAF fue similar para todas las estrategias durante el periodo vegetativo del cultivo y hasta el estadio R2 en ambas campañas ($p = 0.11$, **Figura 3**). El máximo IAF se alcanzó en R5, alcanzando valores de *próximos* a 5 y 7.5 en 2014-15 y 2015-16, respectivamente. En este estadio se observó interacción significativa A x T ($p < 0.01$),

Tabla 1. Descripción de las estrategias de manejo de cultivo y fertilización estudiadas durante las campañas 2014-15 y 2015-16.

Tratamiento		PF	FR	IM	IMF
Densidad de siembra objetivo, pl ha ⁻¹ *		290 000 (331 731)	290 000 (320 513)	440 000 (413 462)	440 000 (431 090)
Espaciamiento entre hileras, cm		52	52	26	26
Cultivar		DM 4970	DM 4970	LDC 4.7	LDC 4.7
Fecha de siembra	2014-15	28 Nov	28 Nov	7 Nov	7 Nov
	2015-16	18 Nov	18 Nov	5 Nov	5 Nov
Inoculación		NO	SI	NO	SI
Fertilización		Sin fertilizante	20 kg P ha ⁻¹ + 20 kg S ha ⁻¹ **	Sin fertilizante	20 kg P ha ⁻¹ + 20 kg S ha ⁻¹ **
Micronutrientes		NO	Foliar B @ R2-R3	NO	Foliar B @ R2-R3
N en inicio de llenado de semillas, R5		NO	SI*** (50 kg N ha ⁻¹)	NO	SI*** (50 kg N ha ⁻¹)

* Entre paréntesis se indica la densidad lograda promedio de ambas campañas
 ** Voleado en cobertura total en el mes de Julio
 *** Voleado en cobertura total en inicio de llenado de las semillas (R5)

PF: Prácticas de manejo más frecuentes
 FR: Fertilización por recomendación
 IM: Intensificación del manejo
 IMF: Intensificación del manejo y la fertilización

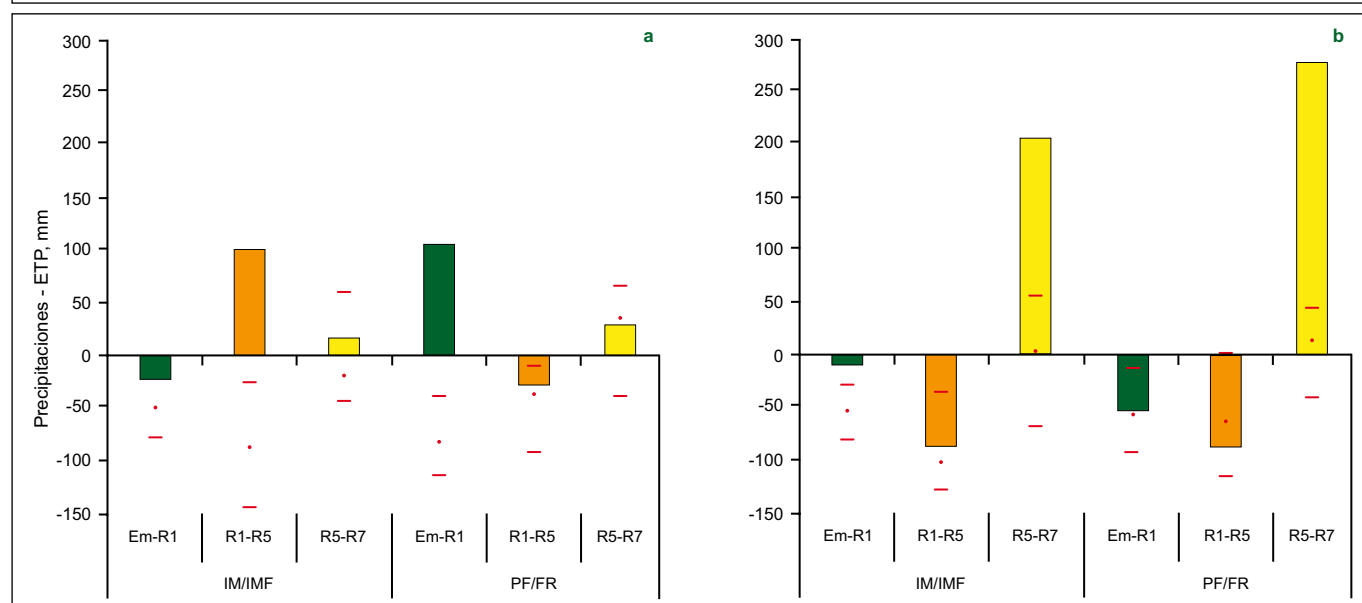


Figura 1. Balance atmosférico (Precipitación - ETP) en tres sub-periodos durante el ciclo de la soja (Vegetativo: Em-R1, reproductivo temprano: R1-R5, periodo de llenado de la semilla: R5-R7) en 2014-15 (a) y 2015-16 (b). Las líneas horizontales y los puntos representan el 25° y 75° cuartil y la mediana de la serie histórica (Oliveros, 1971-2014), respectivamente. PF: Prácticas de manejo más frecuentes; FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización.

explicada por la ausencia de respuesta a los tratamientos en la campaña 2014-15 ($p = 0.49$), mientras que en la campaña 2015-16 los tratamientos IM e IMF tuvieron un IAF 30% mayor y se diferenciaron significativamente de los tratamientos PF y FR ($p = 0.04$). También, como fuera observado para la producción de biomasa, se observó efecto significativo del mayor aporte de fertilizantes (22%) en el manejo más intensificado, i.e. IM vs IMF ($p = 0 < 0.01$; dato no mostrado; **Figura 3**).

Rendimiento y componentes del rendimiento

Se determinó una diferencia significativa ($p = 0.01$) entre campañas, donde la campaña 2014-15 rindió un 26% más que la 2015-16. Dado que no hubo interacción AxT, se analizaron los efectos de cada estrategia a través de contrastes específicos de los tratamientos respecto de PF promediando años, y se corrigió el error utilizado para la comparación de medias a través del test de Bonferroni y así hacer contrastes específicos aun cuando

Tabla 2. Materia seca (MS) en diferentes estados reproductivos del cultivo de soja (R2, R5 y R7) e Índice de área foliar (IAF) en inicio de llenado de semillas (IAF R5) para las diferentes estrategias de producción de soja.

	MS R2		MS R5		MS R7		IAF R5	
	kg ha ⁻¹						m ² m ⁻²	
					2014	2015	2014	2015
PF	2005	8870	10 759	8 359	4.7	5.5		
FR	2259	9829	10 981	8 426	5.2	5.3		
IM	2837	8586	11 317	11 496	4.9	6.4		
IMF	3146	9065	11 998	12 865	5.2	7.8		
Año (A)	0.17	0.13	0.08		0.07			
Tratamiento (T)	0.01	0.19	< 0.01		< 0.01			
AxT	0.43	0.88	< 0.01		< 0.01			
Contrastes								
FR vs PF	0.43	0.11	0.74		0.48			
IM vs PF	0.02	0.61	< 0.01		0.08			
IMF vs PF	< 0.01	0.73	< 0.01		< 0.01			
<i>PF: Prácticas de manejo más frecuentes</i>				<i>IM: Intensificación del manejo</i>				
<i>FR: Fertilización por recomendación</i>				<i>IMF: Intensificación del manejo y la fertilización</i>				

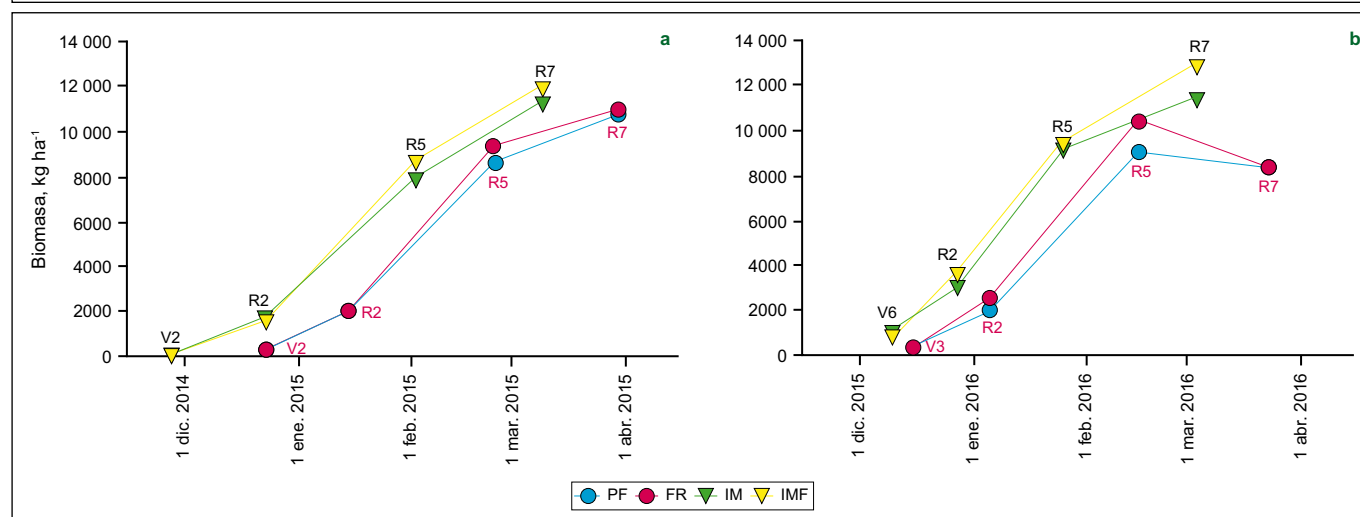


Figura 2. Evolución de la Materia seca (MS), biomasa, para las diferentes estrategias de producción del cultivo de soja en la campaña 2014-15 (a) y 2015-16 (b). PF: Prácticas de manejo más frecuentes; FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización.

el test F general no fuera significativo. Cada estrategia en forma individual, es decir, FR (solo fertilización) o IM (solo manejo), no aumentaron significativamente el rendimiento con respecto a PF. Por otra parte, se observó un aumento significativo de 8% en el rendimiento (ca. 360 kg ha⁻¹) cuando se implementó en forma conjunta una estrategia intensificada de manejo del cultivo y la fertilización recomendada (IMF) respecto de la estrategia PF. Del mismo modo, analizando solo la estrategia de fertilización (promedio de los tratamientos CF + IMF vs IM + PF), el rendimiento aumentó en un 5% ($p < 0.06$, datos no mostrados).

En la primera temporada, la estrategia de plantación tardía (PF y FR) mostró mayor peso de semilla individual

que la estrategia de plantación temprana (IM e IMF) (185 vs. 164 mg por semilla), pero en la temporada 2015-16, se determinó una tendencia diferente (161 y 169 mg por semilla para la estrategia de fecha de siembra tardía y temprana, respectivamente; **Tabla 3**).

La intensificación en el manejo (IM e IMF) produjeron un aumento significativo (32%) en el número de nudos fértiles en tallo principal por m², y esto estuvo relacionado a una densidad 29% superior alcanzada con el menor espaciamiento (**Tabla 1**) y a un 13% de incremento en el número de nudos fértiles en el tallo principal por planta (**Tabla 3**). Si bien el número de vainas por nudo reproductivo (NV nud rep⁻¹) fue significativamente un 18% mayor con las estrategias PF y FR, no alcanzó para

Tabla 3. Rendimiento (kg ha^{-1}), Peso unitario de la semilla (PUS en mg), Número de semillas (NS), nudos fértiles en tallo principal por planta (# nud fért en TP pl^{-1}), número de nudos fértiles en tallo principal (# nud fért TP m^{-2}) y número de vainas por nudo reproductivo en TP (NV nud rep TP $^{-1}$) para los cuatro tratamientos evaluados.

	Rendimiento		PUS		NS		# nud fért en		# nud fért TP m^{-2}	NV nud rep TP $^{-1}$
	---- kg ha^{-1} ----		----- mg -----		--- sem m^{-2} ---		----- TP pl^{-1} -----		Promedio 2014-2015	Promedio 2014-2015
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015		
PF	5198	4056	180	161	2882	2522	13.1	10.5	419	2.6
FR	5490	4187	191	161	2880	2603	14.0	8.9	400	2.7
IM	5247	4256	163	167	3212	2553	12.5	12.8	523	2.2
IMF	5495	4482	165	172	3323	2605	13.1	13.4	554	2.2
Año (A)	0.01		0.04		< 0.01		< 0.01		0.14	0.60
Tratamiento (T)	0.19		< 0.01		0.05		0.03		< 0.01	< 0.01
AxT	0.75		< 0.01		0.08		< 0.01		0.20	0.63
Contrastes										
FR vs PF	0.21		< 0.01		0.67		0.53		0.63	0.56
IM vs PF	0.45		< 0.01		0.07		0.17		0.02	< 0.01
IMF vs PF	0.04		0.23		< 0.01		0.02		< 0.01	< 0.01
<i>PF: Prácticas de manejo más frecuentes</i>					<i>IM: Intensificación del manejo</i>					
<i>FR: Fertilización por recomendación</i>					<i>IMF: Intensificación del manejo y la fertilización</i>					

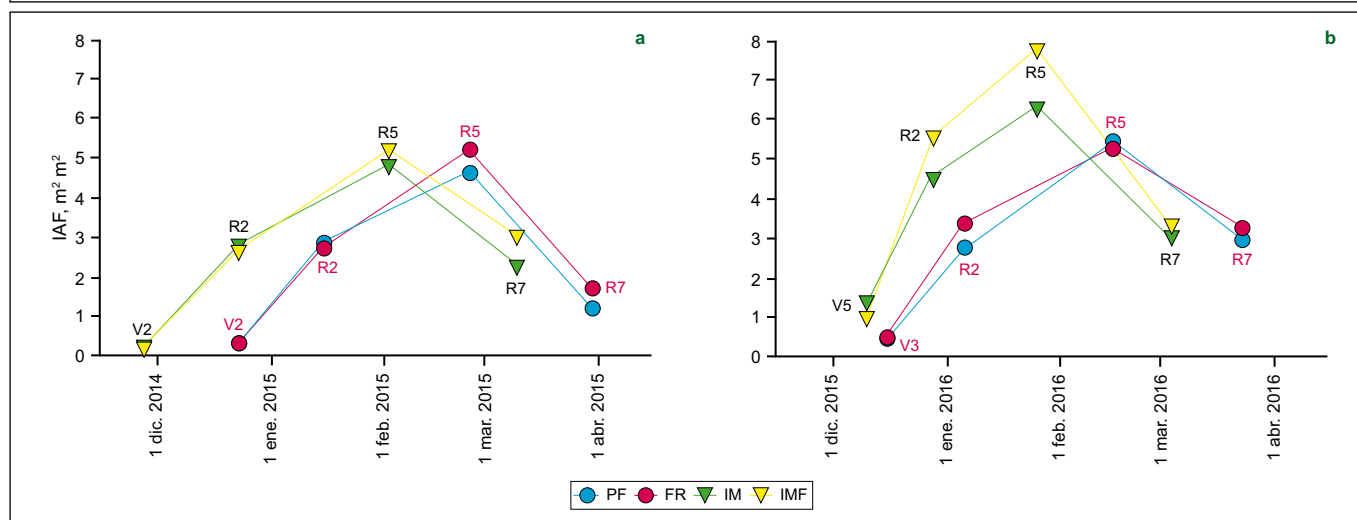


Figura 3. Evolución del índice de área foliar (IAF) para las diferentes estrategias de producción del cultivo de soja en la campaña 2014-15 (a) y 2015-16 (b). PF: Prácticas de manejo más frecuentes; FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización.

compensar la menor densidad de plantas (Tabla 1) y el menor número de nudos fértiles en el tallo principal por planta (# nud fért en TP pl^{-1} , Tabla 3). En el tallo principal se alojaron en promedio el 80% de las vainas en la campaña 2014-15 y el 69% en la campaña 2015-16, sin diferencias entre tratamientos (datos no mostrados).

Al analizar el modelo de formación del número de semillas en relación al crecimiento (Ec. 1), la $\text{TCC}_{\text{R2-R5}}$ fue en promedio de 16.8 g biomasa por m^2 por día, no observándose interacción AxT ($p = 0.88$) ni tampoco efecto de T y A entre las diferentes estrategias de

manejo ($p = 0.15$; Tabla 4). El coeficiente de partición mostró interacción AxT ($p = 0.02$), explicado porque las estrategias PF y FR tuvieron valores 32% mayores de CP respecto de las estrategias IM e IMF solo en la campaña 2015-16 ($p < 0.01$). Sin embargo, no existió interacción AxT para la Eficiencia de cuajado de vainas (EC), y se determinaron diferencias significativas entre campañas ($p = 0.04$) y estrategias de producción ($p < 0.01$). Los tratamientos IM e IMF presentaron valores de EC 71% mayores respecto de las estrategias PF y FR (Tabla 4).

Tabla 4. Duración y Tasa de crecimiento de cultivo (TCC) durante la etapa de fijación de frutos, Coeficiente de partición (CP) y Eficiencia de cuajado (EC).

	Duración R2-R5 días	TCC R2- R5 $g\ m^{-2}\ día^{-1}$	CP $g\ g^{-1}$		EC $g\ g^{-1}$
			2014	2015	
PF	41	16.9	0.22	0.25	17.0
FR	41	18.7	0.20	0.29	15.7
IM	44	15.2	0.20	0.18	28.2
IMF	44	16.5	0.19	0.18	27.8
Año (A)		0.21	0.14		0.04
Tratamiento (T)		0.15	< 0.01		< 0.01
AxT		0.88	0.02		0.86
Contrastes					
FR vs PF		0.24	0.59		0.69
IM vs PF		0.23	< 0.01		< 0.01
IMF vs PF		0.77	< 0.01		< 0.01
<i>PF: Prácticas de manejo más frecuentes</i>			<i>IM: Intensificación del manejo</i>		
<i>FR: Fertilización por recomendación</i>			<i>IMF: Intensificación del manejo y la fertilización</i>		

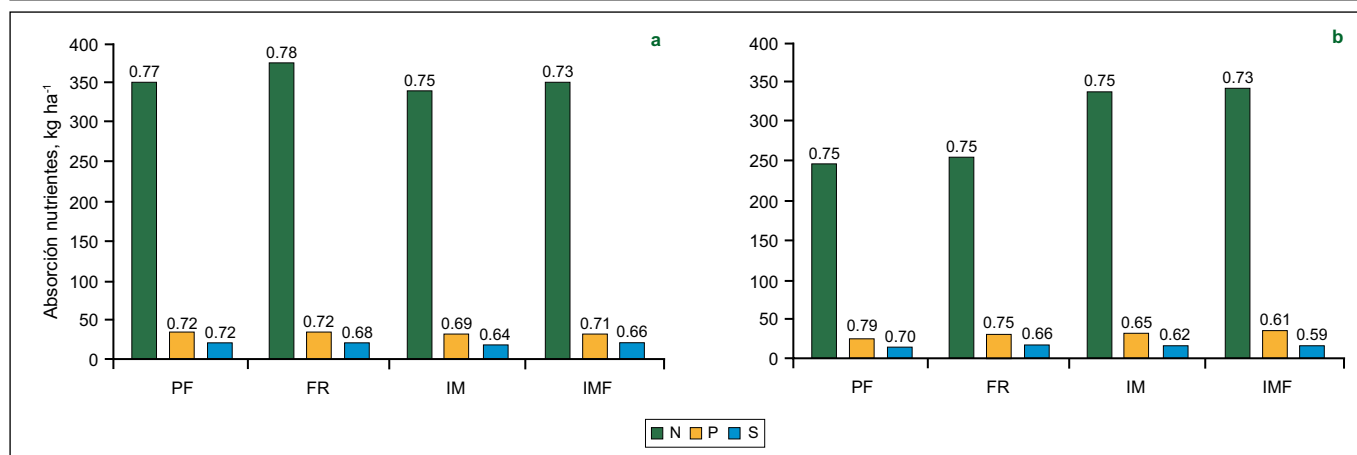


Figura 4: Absorción total para N, P y S en la campaña 2014-15 (a) y 2015-16 (b). FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización. Los números encima de cada columna indican el índice de cosecha de cada nutriente.

Consumo de nutrientes y requerimientos nutricionales

Macronutrientes

En promedio, el cultivo absorbió 326 kg N ha⁻¹, observándose una interacción AxT (datos no mostrados), ya que en la campaña 2014-15 no se hallaron diferencias de absorción entre tratamientos (354 kg N ha⁻¹), mientras que en la campaña 2015-16 las estrategias en que intensificaron el manejo del cultivo (IM e IMF) tuvieron un 36% más de absorción de N (**Figura 4** panel derecho). El ICN fue en promedio del 73%, pero las estrategias IM + IMF tuvieron un ICN 15% menor a PF + FR. El requerimiento interno de N en las estrategias de mayor intensificación fue de 72 kg N por tonelada, un 10% superior respecto de las estrategias PF + FR (**Tabla 5**). En promedio, la absorción de P fue aproximadamente de

32 kg P ha⁻¹, donde las estrategias IM + IMF tuvieron en promedio un 7% más de consumo respecto de las otras, siendo el consumo similar entre años ($p = 0.29$). Al igual que lo observado para N, el ICP fue un 11% mayor en las estrategias más conservadoras de manejo (**Figura 4**). El requerimiento interno de P fue en promedio 6.7 kg P por tonelada de rendimiento, no siendo afectado por los tratamientos. La absorción de S fue en promedio de alrededor de 18 kg S por ha, no existiendo efecto de los tratamientos. El requerimiento interno fue de 3.7 kg de S por kg de rendimiento. En promedio, la relación de nutrientes absorbidos totales N:P:S fue de 18.4:10:1.

Micronutrientes

La absorción de Zn fue en promedio de 245 g Zn ha⁻¹, siendo un 15% superior en los tratamientos IM respecto

Tabla 5. Requerimientos nutricionales de N, P, S, Zn y B por tonelada de grano producida para las diferentes estrategias de producción de soja.

	Requerimiento									
	N		P		S		Zn		B	
	kg Tn ⁻¹		kg Tn ⁻¹		kg Tn ⁻¹		g Tn ⁻¹		g Tn ⁻¹	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
PF	67.6	61.4	6.4	6.2	3.9	3.3	46.8	48.9	103.7	90.5
FR	67.5	61.6	6.2	7.4	3.8	4.0	47.2	53.7	98.6	92.4
IM	64.5	80.3	6.0	7.9	3.6	3.8	48.9	60.3	101.7	107.9
IMF	63.9	77.4	5.9	7.7	3.7	3.5	45.3	60.3	104.5	117.5
ES	1.9		0.3		0.3		4.3		2.5	
Año (A)	0.17		< 0.01		0.25		0.03		0.95	
Tratamiento (T)	0.01		0.11		0.37		0.18		< 0.01	
AxT	< 0.01		<0.01		0.30		0.21		< 0.01	
Contrastes										
FR vs PF	0.68		0.08		0.14		0.40		0.55	
IM vs PF	< 0.01		0.02		0.48		0.04		< 0.01	
IMF vs PF	< 0.01		0.08		0.99		0.12		< 0.01	
<i>PF: Prácticas de manejo más frecuentes</i>					<i>IM: Intensificación del manejo</i>					
<i>FR: Fertilización por recomendación</i>					<i>IMF: Intensificación del manejo y la fertilización</i>					

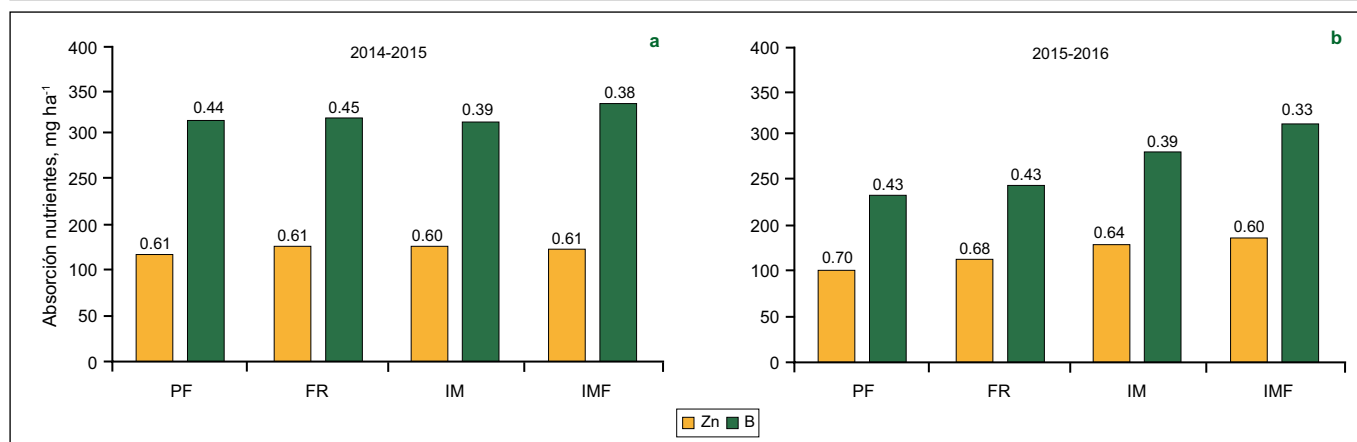


Figura 5: Absorción total para Zn y B en la campaña 2014-15 (a) y en la campaña 2015-16 (b). FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización. Los números encima de cada columna indican el índice de cosecha de cada nutriente.

del PF. El ICZn no fue afectado por los tratamientos siendo, en promedio, el requerimiento interno de Zn de aproximadamente 51 g Zn por tonelada de rendimiento (Figura 5 y Tabla 5). En el caso del B, se tuvo un consumo promedio de 491 g B ha⁻¹, observándose un aumento significativo en el consumo del tratamiento IMF respecto de PF del 11%. El ICB fue, en promedio, del 40% siendo significativamente menor en los tratamientos IM + IMF (Figura 5). En promedio, el requerimiento interno de B fue de 102 g B por tonelada de rendimiento, observando un incremento del 13% en los tratamientos IMF respecto del PF (Tabla 5).

Conclusiones

Estos resultados preliminares muestran que toda práctica de intensificación del manejo del cultivo de soja debe ser acompañada de un manejo efectivo y eficiente de la nutrición de cultivo para optimizar el uso de los recursos. Los procesos que ocurren en la etapa de cuajado y llenado de las semillas fueron los más afectados por el efecto conjunto de la intensificación del manejo y uso de los nutrientes. Si bien las estrategias de intensificación incrementaron el consumo de nutrientes, muchas veces redujeron el requerimiento interno, con lo cual para una misma o menor cantidad de nutriente absorbido se obtuvo mayor rendimiento.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto “Quebrando barreras de rendimiento de soja: Integración de prácticas de producción de cultivo y estrategias de fertilización - Una aproximación de sistemas de producción” del IPNI.

Bibliografía

- Bacigaluppo, S., J.M. Enrico, R.A. Martignone, y M.L. Bodrero. 2011. Respuesta al espaciamiento entre hileras en soja: II Rendimiento y sus componentes. Archivo TC 29 en versión digital del libro de trabajo científicos, Parte II. Tecnología de cultivo.
- Bacigaluppo, S., M.L. Bodrero, J.M. Andriani, J. Capurro, A. Condori, M. De Emilio, M.J. Dickie, O. Gentili, G. Gerster, A. Malmantile, J.M. Méndez, R. Pagani, G. Prieto, y J. Rossi. 2013. Evaluación en red de cultivares de soja de los grupos de madurez III, IV y V en siembras de primera época en diferentes ambientes del centro - sur de Santa Fe. Campaña 2012-13. Para mejorar la producción 50. INTA Oliveros.
- Barbieri, P., H.R. Sainz Rozas, N. Wyngaard, M. Eyherabide, N. Reussi Calvo, F. Salvagiotti, A. Correndo, P.A. Barbagelata, G. Espósito Goya, J.C. Colazo, y H.E. Echeverría, 2017. Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in corn? Soil Sci. Soc. A. J., in press.
- Enrico, J.M., M.B. Conde, R.A. Martignone, M.L. Bodrero. 2013. Soja: Evaluación de la estabilidad del rendimiento según fechas de siembra. Para mejorar la producción 50:71-78. INTA Oliveros.
- Fehr, W.R., y C.E. Caviness. 1977. Stages of Soybean Development. Special Report 80. Iowa State University, Ames. IA.
- Lobell, D.B., K.G. Cassman, y C.B. Field. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. Annu. Rev. Environ. Resour. 34:179-204.
- Manlla, A., y F. Salvagiotti. 2013. Soybean yields and yield gap analysis in The pampas region of Argentina. Abstract 344 en versión digital del libro de trabajo científicos del World Soybean Research Conference IX. February 2013. Durban, South Africa.
- Martignone, R.A., S. Bacigaluppo, J.M. Enrico, M.L. Bodrero. 2011. Respuesta al espaciamiento entre hileras en soja: I Intercepción de radiación y parámetros de crecimiento. Archivo TC 28 en versión digital del libro de trabajo científicos, Parte II. Tecnología de cultivo.
- Mercau, J.L., J. Dardanelli, J.M. Andriani, D. Collino, y J. Belligoi. 2004. Diseño de estrategias de producción de soja: Utilización de un modelo de simulación agronómico. Para mejorar la producción 27:122-129. INTA Oliveros.
- Nelson, D.W., y L.E. Sommers. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agron J 65:109-112.
- Rizzo, F., y P. De Luca. 2009. Impact of row spacing upon soybean crop yield. World Soybean Conference Research, August 10-15, 2009, Beijing, China.
- Rotundo, J.L., L. Borrás, J. De Bruin, y P. Pedersen. 2012. Physiological strategies for seed number determination in soybean: Biomass accumulation, partitioning and seed set efficiency. Field Crops Research 135:58-66.
- Salvagiotti, F., G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H. Vivas, P. Prystupa, H.E. Echeverría, y F.H. Gutierrez-Boem. 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. Field Crops Research 135:107-115.
- Salvagiotti, F., M. Barraco, D. Dignani, H. Sanchez, A. Bono, P. Vallone, G. Gerster, C. Galarza, J. Montoya, y V.J. Gudelj. 2013. Plant stand, nodulation and seed yield in soybean as affected by phosphate fertilizer placement, source and application method. European Journal of Agronomy 51:25-33.
- Salvagiotti, F., P. Prystupa, G. Ferraris, L. Couretot, L. Magnano, D. Dignani, y F.H. Gutierrez Boem. 2017. N:P:S stoichiometry in grains and physiological attributes associated with grain yield in maize as affected by phosphorus and sulfur nutrition. Field Crops Research 203:128-138.

