

Fósforo en la monocultura sojera: efecto de la dosis, forma y momento de aplicación sobre el balance nutricional

Luis Ventimiglia¹, Lisandro Torrens Baudrix¹ y Matías Saks²

Introducción

El cultivo de soja es el más importante de los cultivos extensivos que se realizan en la Argentina. En la campaña 2010/11, se sembraron cerca de 18.8 millones de hectáreas alcanzando una producción de más de 48 millones de toneladas (SIIA, 2012).

Una gran parte de este cultivo es realizado por terceros, en campos que no son de su propiedad. El sistema de siembra más difundido es el de siembra directa, predominando en muchos campos la monocultura sojera a raíz de la rentabilidad diferencial de este cultivo, respecto a los otros cultivos factibles de realizar en la región.

La fertilización es una práctica difundida, aunque no todos los lotes son fertilizados. Normalmente se utilizan diferentes mezclas físicas, con contenidos variables de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre(S), y calcio (Ca). También se utilizan fertilizantes compuestos, tales como: superfosfato triple de calcio, fosfato monoamónico y fosfato diamónico, y en menor medida, mezclas químicas.

La fertilización normalmente se realiza a la siembra, en la línea o al costado y debajo de la semilla. En muchas oportunidades se realiza una fertilización “starter o arrancadora”, empleándose pequeñas cantidades de fertilizante, las cuales en el caso del P, no llegan a cubrir la exportación que realiza anualmente el cultivo. En otros casos, se fertiliza en cobertura total sin incorporación, tratándose de aplicar el fertilizante unos meses antes de la siembra.

La extracción de P por parte del cultivo de soja es variable, encontrando en la bibliografía valores entre 4 a 7 kg t⁻¹ de grano producido (Andrade et al., 1996; Berardo, 2003; García, 2004), sin embargo, es posible que gracias al avance genético, las tasas de extracción puedan ser menores a las descriptas. La bibliografía indica concentraciones de P en grano de soja muy variables, desde 0.43% a 0.64% (Berardo, 2001), considerando rendimientos similares, esto implicaría tasas de exportación de P muy diferentes.

En función de lo expuesto, la Agencia INTA 9 de Julio comenzó un ensayo de larga duración, con el objetivo de responder a través del tiempo en una monocultura sojera, a una serie de interrogantes:

1) ¿Cómo se degrada el nivel de P en el suelo mediante una monocultura sojera?.

2) ¿Qué respuesta se tiene a la aplicación del nutriente?.

3) ¿Cómo varía la concentración de P en grano en función de la disponibilidad de este nutriente en el suelo?.

4) ¿Cuánto aportan al sistema productivo y al suelo pequeñas cantidades de P localizadas estratégicamente?.

5) ¿Cómo influye el momento de aplicación de P al voleo en el rendimiento y la calidad del grano producido?.

6) ¿El sistema combinado de aplicación de P (línea + voleo anticipado), da el mismo resultado que la aplicación al voleo anticipada, con igual cantidad de fertilizante?.

Materiales y métodos

En la campaña 2010/11, se implantó en la localidad de 9 de Julio (Buenos Aires), un ensayo sobre un suelo Hapludol éntico (serie Norumbega), el cual se pretende continuar a través de los años, manteniendo siempre los mismos tratamientos y evaluando la respuesta del cultivo de soja a la aplicación de P.

En el invierno del año 2010 se realizó un barbecho químico con glifosato, 2-4D y Clorimurón, a los efectos de controlar las malezas presentes y mantener limpio el lote hasta la siembra. Esta última se realizó el 3 de noviembre de 2010, empleándose la variedad DM 4670, sembrada a 0.35 m entre hileras y con una densidad de 17 semillas por metro lineal de surco. Durante el ciclo del cultivo se controlaron malezas y se realizó una aplicación de insecticida a los efectos de controlar trips y araña roja.

El diseño experimental establecido fue en bloques completos al azar con 4 repeticiones, contando cada unidad experimental con una superficie de 14 m². Los tratamientos ensayados se describen en la **Tabla 1**.

En los tratamientos que llevan reposición de P, el fertilizante se lo aplica en cobertura total, al voleo sin incorporar. Los tratamientos que llevan arrancador, este es aplicado en la misma línea de siembra, al momento de sembrar.

La dosis de reposición fue establecida en 140 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio (0-46-0), (equivalente a 28 kg ha⁻¹ de P), en tanto que la dosis del arrancador en 40 kg ha⁻¹ del mismo fertilizante (8 kg ha⁻¹ de P).

¹ INTA 9 de Julio. Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: a9julio@internueve.com.ar

² BUNGE Argentina S.A.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de fertilización fosforada en soja. INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11.

Tratamiento	Descripción	Dosis de P kg ha ⁻¹
T1	Testigo	0
T2	Reposición anticipada en Julio (todo al voleo)	28
T3	Arrancador a la siembra (en la línea)	8
T4	Voleo anticipado (20) + Arrancador en la línea (8)	28
T5	Reposición a la siembra (todo al voleo)	28

Tabla 2. Análisis de suelo previo al inicio del ensayo. INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11.

Profundidad cm	Pe ppm	pH	N-NO ₃ ppm	S-SO ₄
0-20	6.1	5.9	8	1
20-40	3.7	6.2	6	-
40-60	3.7	6.5	5	-
60-80	3.1	6.7	-	-
80-100	3.4	6.9	-	-

Pe: P extractable (Bray); N-NO₃: Nitrógeno de nitratos; S-SO₄: Azufre de sulfatos.

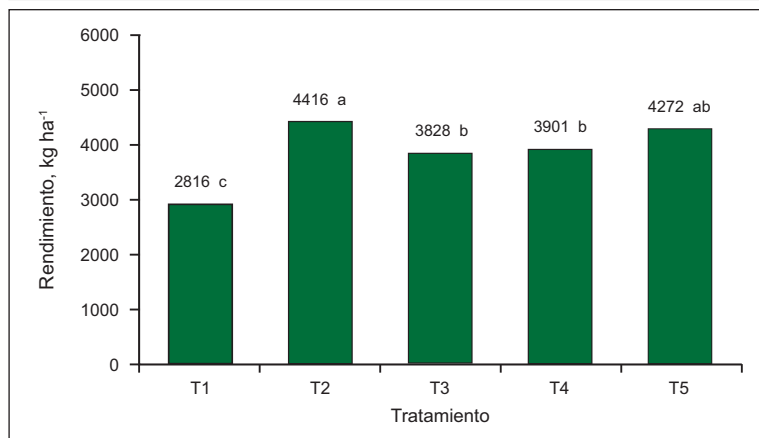


Figura 1. Rendimiento de soja (kg ha⁻¹) para el primer año de evaluación. INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

En el caso de que en algún año la exportación de P fuese mayor a la aplicación de reposición, esta será contemplada en la aplicación del fertilizante de la campaña siguiente.

Se determinó el rendimiento de las parcelas mediante cosecha manual (1 m²), expresando los resultados con 14.5% de humedad de granos. Se cuantificó la concentración de P en grano.

Al inicio de la experiencia, en capas de 20 cm y hasta los 100 cm de profundidad, se realizó un análisis de pH, P extractable (Pe, P Bray 1), conductividad eléctrica y

hasta los 60 cm se determinó el contenido de N como nitratos (N-NO₃). El contenido de azufre como sulfatos (S-SO₄) se determinó en los primeros 20 cm (Tabla 2).

Luego de cosechada la soja, se realizó en cada uno de los tratamientos un análisis de Pe hasta 100 cm, a intervalos de 20 cm. Las muestras de suelo para cada uno de los tratamientos ensayados fueron tomadas en el entre surco.

El nivel de P encontrado al inicio en el lote es el típico de los suelos de 9 de Julio, los cuales están muy distantes de los límites adecuados para cualquiera de los cultivos extensivos que se realizan en la región pampeana argentina.

Resultados y discusión

Del análisis de variancia se verificó la existencia de diferencias en rendimiento entre los tratamientos a un nivel inferior al 1% de probabilidad. Comparadas las medias mediante el Test de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5% de probabilidad, se verificó que todos los tratamientos que recibieron fertilización fosforada se diferenciaron del testigo (Figura 1). Cuando se compararon los tratamientos que recibieron fertilización, se verificó que existieron diferencias entre los tratamientos T2 y los tratamientos T3 y T4. El tratamiento T5 no difirió de T2 pero tampoco de T3 y T4. Aparentemente, la máxima dosis de fertilizante fosforado, aplicado en diferentes momentos y formas, superaría a la dosis menor o de "arranque", indicando que la dosis de P aplicada sería más importante que el momento y la forma de aplicación. Sin embargo, el tratamiento T4 mostro una respuesta diferente ya que no difirió del T3, lo cual no corresponde con esta observación.

Después de cosechado el ensayo (5 de abril de 2011), se realizó el muestreo de suelos correspondiente a P (Tabla 3). El tratamiento testigo (T1) presentó valores de Pe muy similares a los obtenidos antes de comenzar la experiencia. Esto nos estaría mostrando que los suelos Hapludoles de esta zona, pese a disponer de bajos niveles de P Bray, tendrían una rápida tasa de reposición desde otras fracciones de P. Los tratamientos que recibieron la dosis completa del fertilizante en cobertura total al voleo, ya sea aplicados en junio-julio o en el mismo momento de la siembra (T2 y T5), incrementaron notablemente el nivel de P en el suelo, en las diferentes profundidades muestreadas, siendo más notable este incremento en los primeros 20 cm, donde el nivel de P extractable aumentó en promedio

40.1%. Esto nos estaría indicando, que pese a obtener un incremento de rendimiento en soja de 1527 kg ha⁻¹ (+ 54%) respecto al testigo, quedó un remanente de P muy importante en la fracción disponible del suelo, señalando la muy baja tasa de fijación de P de los suelos arenosos como los Hapludoles.

Por último, el tratamiento que sólo llevó el arrancador (T3), el cual logró un buen rendimiento, presenta un valor de P muy parecido al testigo (T1) en la primera capa de 0-20 cm. Esto es de esperar, a raíz de que el fertilizante fue aplicado en la línea de siembra, siendo seguramente muy bien aprovechado por el cultivo, quedando una cantidad de P en la entre línea muy parecida a la de T1.

En función de los rendimientos obtenidos para cada tratamiento, el contenido de P en grano, y la dosis de P aplicada, se calculó el balance del nutriente para los distintos tratamientos (Tabla 4). El testigo (T1) y el tratamiento que recibió 40 kg ha⁻¹ de fertilizante como arrancador (T3), presentaron un balance negativo del P. En el T3, si bien alcanzó un buen rendimiento de soja (en promedio 3828 kg ha⁻¹), la cantidad suministrada de P no alcanzó a cubrir la demanda del cultivo, quedando un saldo negativo de 3.6 kg ha⁻¹ de P. Los tratamientos T2, T4 y T5 presentaron un balance positivo de P, entre 13 y 14 kg ha⁻¹, que seguramente será aprovechado por el/los cultivos siguientes, sirviendo por otro lado, para ir incrementando el nivel de P en el suelo.

También se observó una tendencia de mejora en la calidad nutricional del grano de soja que es fertilizada. El contenido de P en los granos de T2, T4 y T5 superó en promedio a T1 (testigo) en 18.5%. En cambio, T3 tuvo una mejora en la concentración de este nutriente respecto al testigo de solamente 5.5%.

Conclusiones

- De acuerdo a los interrogantes planteados al inicio del ensayo, para explicar *¿Cómo se degrada el nivel de P en el suelo mediante una monocultura sojera?*, se deberá esperar más tiempo. Por el momento, podemos decir que si bien se partió de un nivel bastante bajo de P extractable en los primeros 20 cm, después de realizar un cultivo de soja, el testigo sin aplicación mostró un nivel similar al inicial, indicando una muy buena tasa de reposición de P disponible desde fracciones menos lábiles.
- La pregunta inicial sobre *¿Qué respuesta se obtiene a la aplicación de P en soja?*, ha quedado ampliamente contestada. Como se mostró, todos los tratamientos fertilizados difirieron estadísticamente del testigo, indicando, al menos desde el punto de vista

Tabla 3. Análisis de Pe (Bray I) a diferentes profundidades, inmediatamente después de la cosecha de soja. INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11.

Tratamiento	----- Pe, ppm -----				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
----- cm -----					
T1	6.3	4.0	4.3	3.5	2.8
T2	8.4	6.0	5.3	3.5	5.0
T3	6.9	5.0	5.2	5.4	4.7
T4	6.6	3.1	3.5	2.7	2.8
T5	8.8	4.9	5.1	4.6	4.0

Tabla 4. Concentración de P en grano (%), exportación de P (kg ha⁻¹), y balance de P (kg ha⁻¹). INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos.

Tratamiento	P en grano	P exportado	P aplicado	Balade de P
	%	----- kg ha ⁻¹ -----		
T1	0.29	8.1 c	0	-8.1
T2	0.34	14.9 a	28	13.0
T3	0.30	11.6 b	8	-3.6
T4	0.34	13.2 ab	28	14.8
T5	0.35	14.8 a	28	13.2

productivo, la respuesta positiva al agregado de P para los niveles de disponibilidad de este nutriente en la zona.

- Respecto a *¿Cómo varía la concentración de P en el grano de acuerdo a la disponibilidad del nutriente?*, la misma está asociada a la disponibilidad de P en el suelo. La menor concentración en grano la obtuvo el testigo con 0.29%, seguido por el tratamiento que recibió menos P (T3), con 0.30%, observando valores similares para el resto de los tratamientos (0.34% a 0.35%), los cuales alcanzaron resultados productivos muy parecidos.
- En lo que respecta a *¿Cuánto aportan al sistema productivo y al suelo pequeñas cantidades de P localizadas estratégicamente?*, el tratamiento que recibió solo una dosis de "arranque" (T3), aportó bastante al sistema de producción, dado que logró una eficiencia agronómica de 126.5 kg de soja por cada kg de P aplicado. Sin embargo, este tratamiento dejó un balance de P negativo para el suelo. En otras palabras, para mantener sustentable el sistema productivo, exclusivamente desde el punto de vista del P, deberíamos aplicar, para el rendimiento logrado (3828 kg ha⁻¹), una dosis de reposición de al menos 11.6 kg ha⁻¹ de P anualmente (58 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio).

-
- El efecto del momento de aplicación del P al voleo no fue significativo sobre el rendimiento alcanzado, es decir que se llegó a resultados similares, con la aplicación en invierno, y con la aplicación en el mismo momento de la siembra. Este resultado coincide con otros trabajos realizados por la Agencia INTA 9 de Julio, en donde se concluyó que el efecto del momento de aplicación depende de la incidencia otros factores, tales como: la estructura y porosidad del suelo, la presencia de compactaciones subsuperficiales, y la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo, en especial en las primeras etapas del desarrollo.
 - El avance genético parece haber logrado que las plantas sean mucho más eficientes en la utilización del P, con concentraciones en grano menores a las reportadas por la bibliografía. Como se aprecia en la **Tabla 4**, la mayor tasa de exportación observada es de 3.46 kg de P por tonelada de grano, distando bastante de lo encontrado en la bibliografía, la cual indica valores casi 100% superiores a los obtenidos en esta experiencia. Esta podría ser una explicación de porqué con bajas dosis de aplicación de P, en suelos con carencias nutricionales, se siguen obteniendo buenos resultados en el cultivo de soja.
 - Los resultados obtenidos en este primer año de estudio, muestran el valor estratégico que representa la fertilización con P en el cultivo de soja. A medida que esta investigación avance, podremos cuantificar los efectos a largo plazo del manejo de P.

Bibliografía

- Andrade, F.H., H.E. Echeverría, N.S. González, S. Uhart, y N. Darwich. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo en los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín técnico N. 134. EEA INTA Balcarce. 17 p.
- Berardo, A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. In Simposio "El fósforo en la agricultura Argentina". INPOFOS. Rosario, 8 y 9 de mayo del 2003.
- García, F.O. 2004. Soil fertility management for soybean in Argentine. VII World soybean research conference, V International soybean proceeding and utilization conference. III Congreso Mundial de Soja. Actas pp. 392-399.
- SIIA. 2012. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. <http://www.siaa.gov.ar>, consultado el 26 de enero del 2012. ★