



Fósforo en la monocultura sojera: Efecto de la dosis, forma y momento de aplicación sobre el balance nutricional. (I Año)

* Ing. Agr. *Ventimiglia, Luis*
* Ing. Agr. *Torrens Baudrix, Lisandro*
** Ing. Agr. *Saks, Matías*
Abril de 2012

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 conteniendo de fósforo, azufre, calcio y nitrógeno variable, también se utilizan en menor medida mezclas químicas, como así también otros fertilizantes, tales como: superfosfato triple de calcio, fosfato monoamónico y diamónico.

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

Las tasas de extracción de fósforo que realiza la soja es muy variable, la bibliografía cita valores de 6,4 a 7 kg por tonelada de grano producido (Andrade y colaboradores, 1996); (García, F. 2004), sin embargo, es posible que gracias al avance genético, las tasas de extracción puedan ser menores a las descriptas. Por otro lado, la bibliografía también indica concentraciones de fósforo en grano de soja muy variables, desde 0,43% a 0,64 % (Berardo, A. 2001), considerando rendimientos similares, esto implicarían tasas de exportación de fósforo muy diferentes.

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

¿Como se degrada el nivel de fósforo en el suelo mediante una monocultura sojera?, ¿qué respuesta se tiene a la aplicación de fósforo?, ¿como varía la concentración de fósforo en grano en función de la disponibilidad de este nutriente en el suelo?, ¿cuánto aportan al sistema productivo y al suelo pequeñas cantidades de fósforo localizadas estratégicamente?, ¿como influye el momento de aplicación del fósforo al voleo en el rendimiento y calidad del grano producido?, ¿el sistema combinado de aplicación de fósforo (línea + voleo anticipado), da el mismo resultado que la aplicación al voleo anticipada, con igual cantidad de fertilizante?.

Materiales y métodos

Se implantó en la campaña 2010/11 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 las mismas parcelas y evaluando el comportamiento de la soja a la aplicación de fósforo.

El diseño establecido fue el de bloques al azar con 4 repeticiones, contando cada unidad experimental con una superficie de 14 m².

Los tratamientos ensayados fueron los siguientes:

- 1.- Testigo de fósforo.
- 2.- Reposición de fósforo anticipada, aplicado anualmente en junio-julio.
- 3.- Arrancador, aplicado en la línea de siembra.
- 4.- Dosis de reposición menos la dosis del arrancador aplicados en junio-julio, más la dosis del arrancador aplicada en la línea de siembra.
- 5.- Reposición aplicada en el momento de sembrar.

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

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

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

Anualmente se determinará por cosecha manual (1 m²), y trillando el material recolectado el rendimiento, expresando los resultados con 14,5 % de humedad de granos. Se cuantificará en grano la cantidad de fósforo capturado, de esta manera se irá construyendo para cada uno de los tratamientos ensayados un balance de fósforo.

Al inicio de la experiencia, en capas de 20 cm y hasta los 100 cm de profundidad, se realizó un análisis de pH, fósforo extractable, conductividad eléctrica y hasta los 60 m se determinó el contenido de nitrógeno de nitratos. El contenido de azufre de sulfatos se determinó en los primero 20 cm (Cuadro 1).

Anualmente, después de cosechada la soja, como así también antes de comenzar una nueva siembra, se realizará en cada uno de los tratamientos un análisis de fósforo hasta 100 cm, tomando muestras cada 20 cm. Las muestras de suelo para cada uno de los tratamientos ensayados siempre serán tomadas en el entre surco.

Cuadro 1: Análisis de suelo previo al inicio del ensayo

Profundidad (cm)	Pe (ppm)	pH	CE (mmoles/cm)	N-NO ₃ (ppm)	S-SO ₄ (ppm)
0-20	6,1	5,9	0,070	8	1
20-40	3,7	6,2	0,065	6	
40-60	3,7	6,5	0,067	5	
60-80	3,1	6,7	0,059		
80-100	3,4	6,9	0,068		

Pe: Fósforo extractable (Bray)

CE: Conductividad eléctrica

N-NO₃: Nitrógeno de nitratos

S-SO₄: Azufre de sulfatos

Como se puede apreciar en el cuadro 1, el nivel de fósforo encontrado 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.

En el invierno del año 2010 se realizó un barbecho químico con glifosato, 2-4D y Clorimuron, a los efectos de controlar las malezas presentes y mantener limpio el lote hasta la siembra. Esta última se realizó el 3-11-10, 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 arañuela roja.

Resultados y discusión

Del análisis de variancia se verificó la existencia de diferencias entre los tratamientos a un nivel inferior al 1 % de probabilidad, no existiendo diferencia entre bloques.

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 (Cuadro 2).

Cuadro 2: Rendimiento de soja (kg/ha) para el primer año de evaluación

Tratamientos	Rendimiento kg/ha	Significancia
2	4.415	a
5	4.272	ab
4	3.900	ab
3	3.828	b
1	2.816	c

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Media general: 3.846 kg/ha

Coeficiente de variación: 9,5 %

Cuando se compararon los tratamientos que recibieron fertilización, se verificó que no existió diferencia entre los tratamientos 2 – 5 y 4, estos tratamientos son los que llevan la máxima dosis de fertilizante fosforado, aplicado de diferente manera, esto nos estaría diciendo, que más importante que el momento y la forma de aplicación del fósforo, sería la cantidad del elemento aplicado. Esto es válido hasta cierto punto, dado que por otro lado, el tratamiento 2, se diferenció del tratamiento 3, en tanto que los tratamientos 5 y 4 no se diferenciaron del tratamiento 3. Debemos recordar que el tratamiento 3 es el que adiciona fertilizante como arrancador posicionado en la línea de siembra. Este resultado está dentro de la lógica, al menos desde lo que significa la eficiencia, dado que normalmente las menores cantidades de fertilizantes aplicados en los lugares estratégicos, donde la raíz lo puede capturar fácilmente, son los que se pueden destacar, máxime en situaciones de baja disponibilidad inicial del nutriente en el suelo. En este caso, la eficiencia de uso del nutriente aplicado fue de 126,5 kg de grano/kg de P aplicado como arrancador. En cambio si promediamos las respuestas obtenidas respecto al testigo en los tratamientos 2, 4 y 5, la eficiencia fue de 49,3 kg de grano/kg de P.

Después de cosechado el ensayo (05-04-11), se realizó el muestreo de suelo para la determinación de fósforo extractable para cada tratamiento. Las muestras a analizar se conformaron de un muestreo de cada tratamiento y todas las repeticiones, constituyendo de esta manera una muestra compuesta (Cuadro 3). El muestreo en todos los casos se realizó en el entresurco y a intervalos de 20 cm de profundidad.

Cuadro 3: Análisis de fósforo extractable a diferentes profundidades, inmediatamente después de la cosecha de soja

Tratamiento	00-20	20-40	40-60	60-80	80-100
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1	6,3	4,0	4,3	3,5	2,8
2	8,4	6,0	5,3	3,5	5,0
3	6,9	5,0	5,2	5,4	4,7
4	6,6	3,1	3,5	2,7	2,8
5	8,8	4,9	5,1	4,6	4,0

Fuente: Laboratorio ISETA

Del cuadro 3 se pueden apreciar algunas cosas interesantes: en primer lugar si observamos el testigo (tratamiento 1), encontramos valores muy

similares a los obtenidos antes de comenzar la experiencia, con la diferencia que hay una tasa de extracción que el cultivo realizó. Esto nos estaría mostrando que los suelos hapludoles de esta zona, pese a disponer de bajos niveles de fósforo asimilable en la solución de los mismos, tendrían una rápida tasa de reposición.

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 (tratamientos 2 y 5), incrementaron notablemente el nivel de fósforo en el suelo, en los diferentes niveles de profundidad muestreado, siendo más notable este incremento en los primeros 20 cm, donde el nivel de fósforo extractable aumentó en promedio 40,1 %. Esto resulta interesante dado que nos estaría indicando, que pese a obtener la soja un incremento de rendimiento, respecto al testigo, de 1.527,5 kg/ha igual a + 54,2 %, quedó un remanente de fósforo muy importante en la solución del suelo, confirmando de esta manera que los suelos arenosos como los hapludoles, tendrían una muy baja tasa de fijación de fósforo.

De los datos obtenidos resulta extraño, el fósforo extractable encontrado al final del primer año de evaluación que presentó el tratamiento 4, (dosis completa de fertilización, pero dividida entre arrancador y cobertura total). Sería lógico esperar para este tratamiento un comportamiento similar al obtenido para los tratamientos antes descriptos. Por último, el tratamiento que sólo llevó el arrancador, el cual logró un buen rendimiento, presenta un valor de fósforo muy parecido al testigo. Esto es normal que ocurra así, a raíz de que en este caso el fertilizante fue aplicado en la línea de siembra, siendo seguramente muy bien aprovechado por el cultivo, quedando una cantidad de fósforo en la entre línea muy parecida a la del testigo.

En función de los rendimientos obtenidos para cada tratamiento, los miligramos de fósforo contenido en el grano (obtenidos mediante análisis de laboratorio), y la dosis de fósforo aplicada, se construyó un balance del nutriente estudiado (Cuadro 4).

Cuadro 4: Rendimiento de soja (kg/ha), miligramos fósforo por kg de grano producido, exportación de fósforo en granos (kg/ha), porcentaje de fósforo en grano, y balance de fósforo (kg/ha)

Tratamiento	Repet	Rendi kg/ha	P grano mg/kg	% de P grano	Exporta P kg/ha	P kg/ha aplicado	Balance P kg/ha	Balance P Medio kg/ha
1	I	2.532	2.756	0,275	6,798	0	- 6,978	- 8,104
	II	2.921	2.788	0,278	8,143	0	- 8,143	
	III	3.003	2.926	0,292	8,786	0	- 8,786	
	IV	2.809	3.030	0,303	8,511	0	- 8,511	
2	I	4.326	2.843	0,284	12,298	28	+ 15,70	+ 13,04
	II	4.367	3.383	0,338	14,773	28	+ 13,23	
	III	4.869	3.616	0,361	17,606	28	+ 10,39	
	IV	4.100	3.699	0,369	15,165	28	+ 12,83	
3	I	3.782	2.864	0,286	10,831	8	- 2,831	- 3,58
	II	4.274	3.041	0,304	12,997	8	- 4,997	
	III	3.721	3.145	0,314	11,702	8	- 3,702	
	IV	3.536	3.052	0,305	10,792	8	- 2,792	

4	I	3854	3.569	0,356	13,754	28	+ 14,25	+ 14,77
	II	4.162	2.941	0,294	12,240	28	+ 15,76	
	III	3.260	3.213	0,321	10,474	28	+ 17,53	
	IV	4.326	3.801	0,380	16,443	28	+ 11,56	
5	I	4.777	3.636	0,363	17,369	28	+10,63	+ 13,20
	II	4.110	3.320	0,331	13,645	28	+ 14,35	
	III	4.121	3.957	0,395	16,306	28	+ 11,69	
	IV	4.080	2.912	0,291	11,880	28	+ 16,12	

Del cuadro 4 se aprecia que dos tratamientos presentaron un balance negativo del fósforo. El testigo (T1) y el tratamiento que recibió 40 kg/ha de fertilizante como arrancador (T3), en este último caso, si bien se alcanzó un buen rendimiento de soja (en promedio 3.828 kg/ha), la cantidad suministrada de fósforo (8 kg/ha), no alcanzó a cubrir la demanda del cultivo, quedando un saldo negativo de 3,58 kg/ha de fósforo. Este tratamiento posiblemente haya visto también limitado su rendimiento, dado que en promedio, los demás tratamientos, donde el fósforo no fue limitante, superaron a este por 368 kg/ha. Precisamente estos 3 tratamientos que hacemos mención (tratamientos 2 – 4 y 5), presentaron un balance positivo de fósforo, entre 13 y 14 kg/ha, nutriente que seguramente será aprovechado por el/los cultivos venideros, sirviendo por otro lado, para ir incrementando el nivel de fósforo que presentan los suelos de la región pampeana. También se observó una mejora en la calidad nutricional del grano de soja que es fertilizada. El contenido de P en los granos de los tratamientos 2, 4 y 5 supera en promedio al testigo en 18,5 %. En cambio, el tratamiento 3 que sólo tuvo el arrancador, tuvo una mejora en la concentración de este nutriente respecto a testigo de solamente 5,5 %.

De acuerdo a los interrogantes planteados al inicio del ensayo, para explicar ¿Cómo se degrada el nivel de fósforo en el suelo mediante una monocultura sojera?, se deberá esperar más tiempo, sí podemos decir por ahora, que si bien se partió de un nivel bastante bajo de fósforo extractable en los primeros 20 cm, después de realizar un cultivo de soja, el nivel se mantuvo en valores similares al inicial, indicando una muy buena tasa de reposición fosfórica de la solución del suelo.

La pregunta inicial sobre ¿Qué respuesta se obtiene a la aplicación de fósforo 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 productivo, que todos respondieron positivamente al agregado de fósforo, para los niveles modales de este elemento en la zona.

Respecto a ¿Cómo varía la concentración de fósforo en el grano de acuerdo a la disponibilidad del nutriente?, la misma esta asociada a la disponibilidad de fósforo en el suelo, la menor concentración en grano la obtuvo el testigo con 0,287 %, a esta le siguió el tratamiento que recibió menos fósforo (tratamiento 3), con 0,302 %, ubicándose en valores similares el resto de los tratamientos (0,338 a 0,345 %), los cuales alcanzaron resultados productivos muy parecidos.

En lo que respecta a ¿Cuánto aportan al sistema productivo y al suelo pequeñas cantidades de fósforo localizadas estratégicamente?, en este

caso, el tratamiento que ayudaría a responder la pregunta (tratamiento 3), aportó bastante al sistema de producción, dado que logró una eficiencia de 126,5 kg de soja extra por cada kg de fósforo aplicado. Si bien este tratamiento al suelo no le ha dejado nada de fósforo, ya que el mismo fue deficitario en cuanto al fósforo, esto indicaría que una parte del nutriente que se exportó con los granos provino del propio suelo y no del fertilizante. En otras palabras, para mantener sustentable el sistema productivo, exclusivamente desde el punto de vista del fósforo, deberíamos aplicar, para el rendimiento logrado (3.828 kg/ha), al menos 11,6 kg/ha de fósforo anualmente (58 kg/ha de superfosfato triple de calcio).

El momento de aplicación del fósforo 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 más que el momento de aplicación incidirían otros factores, tales como: una buena estructura de suelo, buena macro y meso porosidad del suelo, ausencia de compactaciones subsuperficiales, un buen sistema de siembra directa con buena rotación de cultivos, disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo, en especial en las primeras etapas del desarrollo del mismo, para poder de esta manera, arrastrar el fertilizante hasta los sitios de absorción por parte de las plantas, etc.

Uno de los temas que en este primer año de ensayo ha quedado enmascarado, es el resultado alcanzado con la doble aplicación de fertilizante, es decir: una aplicación al voleo de 100 kg/ha, combinada con una aplicación en la línea de siembra de 40 kg/ha, a priori era esperable un mejor resultado, sin embargo, tanto desde el punto de vista productivo, como así también en lo concerniente a la disponibilidad final de fósforo encontrada en el lote, los resultados alcanzados son de difícil análisis, posiblemente la continuidad del trabajo permita encontrar las explicaciones al tema antes mencionado.

Algo que resulta muy importante es observar cual fue la tasa de exportación de fósforo por tonelada de grano producido (Cuadro 5).

Cuadro 5: Valores promedio de producción de soja y exportación de fósforo por tonelada de grano producido.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	kg de fósforo exportado por tonelada grano
1	2.816	2,87
2	4.415	3,38
3	3.828	3,02
4	3.900	3,39
5	4.272	3,46

Como se aprecia en el cuadro 5, la mayor tasa de exportación se ubica en valores de 3,46 kg de fósforo/tonelada de grano producido, esto dista bastante de lo encontrado en la bibliografía, la cual indica valores casi 100 % superiores a los obtenidos. Esta podría ser una explicación de porqué con valores tan bajos de fósforo aplicado, en suelos con carencias nutricionales, se siguen obteniendo buenos resultados en el

cultivo de soja.

Quizás la genética moderna ha privilegiado la producción, haciendo que las plantas sean mucho más eficientes en la utilización del fósforo, pero con concentraciones menores de este elemento dentro del grano.

Como ya fue expresado, los resultados obtenidos en este primer año de estudio, muestran el valor estratégico que representa la fertilización con fósforo en el cultivo de soja. A medida que la misma avance podremos ratificar o rectificar los comentarios aquí brindados.

BIBLIOGRAFIA

Andrade, F.H; Echeverría, H.E; Gonzalez, N.S; Uhart, S; Darwich, N; 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". Organizado por INPOFOS y Bolsa de comercio de la ciudad de Rosario, Santa Fé. 8 y9 de mayo del 2003.

Garcia, F. 2004. Soil fertility management for soybean in Argentina. VII World soybean research conference, V International soybean proceeding and utilization conference. III congreso mundial de soja (Brazilian soybean congress). Procceding: 392 – 399.

SIIA, Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. <http://www.siiia.gov.ar>, consultado el 26/01/2012.