

FERTILIZACIÓN EN SOJA. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS EN ARGENTINA, BOLIVIA Y URUGUAY.

Fernando Martínez (1), Graciela Cordone (2) y Vicente Gudelj (3)

(1) Ing. Agr. INTA Casilda, (2) Ing. Agr. M.Sc. INTA Casilda y (3) Ing. Agr. INTA Marcos Juárez

Con la colaboración de los Ings. Agrónomos Guillermo Rocco, Juan Carlos Quevedo Camacho y Alejandro Nardone y de Guillermo Criscione, Productor.

Palabras clave: soja- fertilización- Argentina – Bolivia-Uruguay

Introducción

La expansión del cultivo de soja en el Cono Sur sudamericano se inició simultáneamente en el Centro-Norte del estado de Rio Grande do Sul (Brasil) y en el Centro-Sur de la provincia de Santa Fe (Argentina) a comienzos de la década de 1970. Desde estos núcleos originales el cultivo creció de forma incontenible, llegando a ocupar aproximadamente 40 millones de ha en 2005/2006. Actualmente se siembra soja en un eje Norte-Sur de 3500 km, desde los Cerrados de los estados de Tocantins y Para en Brasil hasta la pampa del Sudeste en la provincia de Buenos Aires en Argentina, sobre muy diferentes ambientes edafo-climáticos cubriendo 30 grados de latitud.

En la Argentina, el cultivo creció dentro de la Región Pampeana Norte (RPN) impulsado por chacareros del Sur santafesino y del Este cordobés entre 1975-1990 y luego por productores empresariales quienes lo expanden al resto de la Región Pampeana Norte y Sur (RPS), al Noroeste (NOA) y al Noreste de Argentina (NEA).

El cultivo fue introducido en los departamentos de Rocha y Treinta y Tres en Uruguay por productores gaúchos (de Rio Grande do Sul) a comienzos de los 80s´ y en el departamento de Santa Cruz en Bolivia, por productores de Mato Grosso do Sul en los 90s´.

Grandes Regiones Productoras

Argentina

La mayoría de los suelos cultivados con soja en Argentina presentaban originalmente muy buena fertilidad y fueron utilizados más de 100 años sin fertilización; cuando se introdujo la soja gran parte de esa fertilidad se había perdido, en particular materia orgánica (MO) y sus nutrientes asociados: nitrógeno (N), azufre (S) y boro (B). El contenido de fósforo (P) original, muy variable entre regiones, también disminuyó. El contenido de potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca) aún puede considerarse adecuado en la mayoría de las regiones productoras.

En Argentina se cultiva soja en 4 Regiones: 1.RPN: Centro y Sur de Entre Ríos, Centro y Sur de Santa Fe, Córdoba, Este de San Luis y Norte y Noroeste de Buenos Aires, 2.RPN: Centro-Norte, Cuenca del Salado, Sudeste y Sudoeste de Buenos Aires y Noreste de La Pampa, 3. NOA: Tucumán, Norte de Catamarca, Oeste de Santiago del Estero y Salta y 4. NEA: Norte de Santa Fe, Chaco, Este de Santiago del Estero, Corrientes y Norte de Entre Ríos.

Bolivia

Toda la producción comercial de soja se realiza en el departamento de Santa Cruz, en el Oriente boliviano. Se identifican dos áreas de características diferentes: Este y Norte de Santa Cruz. También se cultiva soja en pequeña superficie en el departamento de Tarija, en el sur, con destino a producción de semilla de calidad (menos de 10.000 ha).

El Este de Santa Cruz presenta suelos aluviales de buena fertilidad natural, franco limosos, uniformes, con comunidades vegetales de Chaco y suficientes lluvias en primavera-verano. El Norte presenta suelos overos, en gran parte sobre paleocauces, de

moderada fertilidad natural sobre vegetación de Yungas y con mayor régimen de lluvias; en esta región es posible realizar dos cosechas al año en gran parte debido a napas muy cerca de la superficie y a la muy baja probabilidad de heladas invernales.

Uruguay

La soja se siembra actualmente en las tierras de mejor aptitud agrícola del Uruguay, en el Litoral Oeste (departamentos de Paysandú, Río Negro, Soriano, Colonia y Flores). Son suelos pesados, arcillo-limosos, con suaves pendientes y muy pobres en P.

Tabla 1. Regiones Sojeras en Argentina, Bolivia y Uruguay. Campaña 2004/2005

Países	Superficie en 10 ³ ha	Producción en 10 ³ ton	Rendimiento en t/ha
Argentina NOA Soja 1 ^a	1000	2250	2,25
NEA Soja 1 ^a	1000	1850	1,85
RPN Soja 1 ^a	8000	25650	3,20
Soja 2 ^a	2400	5400	2,25
RPS Soja 1 ^a	1200	2580	2,15
Soja 2 ^a	300	300	1,05
Total Argentina	15000	37120	2,71
Uruguay Litoral Oeste	300	560	1,75
Bolivia Santa Cruz E	350	1730	1,82
Santa Cruz N	600*		

Elaboración propia en base a informes de INE (Instituto Nacional de Estadísticas – Bolivia), MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca – Estadísticas Agropecuarias – RO del Uruguay) y SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación – Argentina). * incluye doble siembra de soja.

La nutrición en soja

El grano de soja es proteico-oleaginoso, y esta doble composición determina su alto valor industrial (Tabla 2). Los mecanismos de la planta de soja para “acumular” moléculas de costosa síntesis implican una elevada demanda sobre el suelo. A su vez, la planta concentra en sus granos proporciones de los nutrientes absorbidos superiores a otros cultivos. (Tabla 5)

Tabla 2. Composición (%) de los granos de cuatro cultivos.

Cultivo	Carbohidratos	Lípidos	Proteínas
Girasol	30	50	20
Maíz	84	5	10
Trigo	82	2	14
Soja	38	20	40

Tomado de Sinclair y de Wit 1976. (1)

Tabla 3. Requerimiento de macronutrientes en kg por ton grano

Cultivo	N	P	K	Ca	Mg	S
Girasol	40	5	28	18	11	5
Maíz	22	4	19	3	3	4
Trigo	30	5	19	3	3	4,5
Soja	80	8	33	16	9	7

Fuente: Archivo Agronómico n°4. (2)

Tabla 4. Requerimiento de micronutrientes en g por ton grano

Cultivo	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Cl	Mo
Girasol	165	19	261	55	100	-	29
Maíz	20	13	125	189	53	444	1
Trigo	25	10	137	70	52	-	-
Soja	25	25	300	150	60	237	5

Fuente: Archivo Agronómico n°4. (2)

Tabla 5. Índice de Cosecha de macronutrientes

Cultivo	N	P	K	Ca	Mg	S
Girasol	0,60	0,80	0,25	0,08	0,28	0,38
Maíz	0,66	0,75	0,21	0,07	0,28	0,45
Trigo	0,66	0,75	0,17	0,14	0,50	0,25
Soja	0,75	0,84	0,59	0,19	0,30	0,67

Fuente: Archivo Agronómico nº4. (2)

El mecanismo clave que explica el desempeño del cultivo para producir su grano de “doble contenido” es la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), simbiosis entre la planta de soja y colonias de bacterias del género *Bradyrhizobium* que tiene lugar principalmente en nódulos formados sobre su raíz principal. En las variables condiciones de campo la FBN suministra entre el 50 y el 85% del requerimiento de N y el resto es tomado del suelo. Generalmente se presume que el balance de N edáfico cuando se cultiva soja es neutro a levemente deficitario. Este complejo mecanismo nutricional ha determinado que la mayor demanda comercial del grano sea cubierta por expansión de la superficie sembrada sin que hasta la fecha se haya logrado aumentar significativamente el rendimiento por unidad de superficie.

La estrategia nutricional que se aplica mundialmente en soja es ofrecer al cultivo las mejores condiciones para favorecer la FBN, asumiendo que la fertilización nitrogenada es impropcedente desde el punto de vista económico y ambiental. El suministro inicial de P y de (S) contribuye a una mejor instalación de los nódulos en estadios tempranos del cultivo. El alto requerimiento de K y de P contribuye a una mayor tasa de crecimiento del cultivo que a su vez permite un constante flujo de asimilados hacia los granos; la oferta adecuada de B en estadios cercanos a floración contribuye a un mejor cuaje de los granos y la mejor producción se obtiene cuando el cultivo crece y se desarrolla sin stress hídrico o nutricional durante todo el período reproductivo.

Los restos de cosecha que permanecen en el campo (rastrojo superficial y raíces) son menores que los de otros cultivos y disminuyen progresivamente debido a la mejora en el Índice de Cosecha del grano. En la RPN argentina el IC del cultivo era 0,35 en 1980 y en 2005 es 0,42. El rastrojo de soja posee una relación Carbono:Nitrógeno de 40:1 que favorece su rápida descomposición, mientras que el de gramíneas posee una relación de 80-100:1 y permanecen mas tiempo en el suelo. La cantidad y la calidad del rastrojo que soja aporta al suelo normalmente no alcanzan a compensar las pérdidas de carbono (C) edáfico que se producen por mineralización de la MO. Un aspecto favorable es que soja posee un contenido de lignina levemente superior al de las gramíneas, y esta lignina es antecesora de formas estables de la MO. Toda estrategia de conservación de suelo en el que se cultive soja exige incluirla en rotación con otros cultivos de rastrojo más voluminoso y con un sistema radicular extendido y en cabellera, en especial gramíneas.

Los modelos productivos

En Sudamérica se identifican dos modelos productivos para cultivar soja, uno que llamaremos “pampeano” por practicarse extensivamente en las pampas argentinas y otro que llamaremos “cerrados” con el que se cultiva soja en la región de los Cerrados brasileños. El modelo “pampeano” se caracteriza por sembrar unicamente soja, sin rotación y sin cultivos de cobertura, con nula o escasa fertilización y sin corrección de suelos; el modelo “cerrados” se realiza con corrección de pH edáfico, fuerte fertilización con macro y micronutrientes e inflexible utilización de cultivos de cobertura y otras prácticas de conservación de suelos. En ambos modelos la implantación se realiza en siembra directa y se aplican prácticas de protección del cultivo semejantes. Ambos modelos han sido ajustados a las condiciones edafoclimáticas regionales y se han extendido y continúan extendiéndose hasta donde el mercado y los ambientes lo permitan, en el caso “pampeano” con mínima o nula atención de los costos o servicios ambientales de los que se vale.

En Argentina y en Bolivia predomina el modelo pampeano, inclusive con doble soja anual en el Norte de Santa Cruz (una cosecha en verano y otra en invierno). En Uruguay

se utiliza un modelo mixto de soja en rotación con otros cultivos. En las regiones que aquí se analizan la práctica de cultivos de cobertura solo alcanza nivel experimental.

Situación actual de la fertilización en soja

Argentina

La inoculación de semillas de soja fue una práctica indispensable al comienzo de su cultivo en el área original (Centro-Sur de Santa Fe) y se realizó rigurosamente durante varios años. Logrado el establecimiento de las bacterias fijadoras la inoculación dejó de realizarse como práctica usual o con el debido rigor. Como además se desconocía que el nivel crítico de P para soja era menor que el de otros cultivos pampeanos se asumió erróneamente que el cultivo podía independizarse de la fertilidad del lote. Este prejuicio fue una de las causas en el atraso en la difusión y adopción de la fertilización de soja como práctica a gran escala.

Desde la campaña 2000/2001 se incrementó notablemente la fertilización en soja, comenzando por las zonas de mayor historia sojera y luego ampliándose a todas las regiones productoras. Los criterios de fertilización en soja varían grandemente entre regiones y aún dentro de una misma zona. En la RPN para la campaña 2004/05 se estima que se fertilizó con P solo o en mezclas con S en aproximadamente el 42% de la soja de 1ª utilizando dosis variables entre 5 y 15 unidades de P por ha y entre 7 y 10 unidades de S. En Entre Ríos y en el Norte y el Oeste de Buenos Aires la fertilización fosfórica es usual aunque con dosis que no cubren la exportación; en el Sur y Centro de Santa Fe se aplican mezclas P+S mientras que se fertiliza poco en Córdoba.

En la RPS la fertilización fosfórica es una práctica normal en zonas deficientes y con larga tradición de fertilización NP en trigo como en el Sudeste de BA. En el Sudoeste de BA y en el Este de LP, donde el cultivo es más reciente, se estima que la fertilización con P se aplica en el 30% de los lotes de soja de 1ª. La fertilización con S es desconocida en la RPS y la aplicación de mezclas NPS en trigo para efecto residual en la soja de 2ª están poco difundidas.

En el NOA la fertilización en soja alcanza hasta un máximo del 35% en algunas zonas de mejor nivel técnico (Este de Tucumán) aplicando bajas dosis de P. El uso de S es incipiente.

En el NEA la fertilización con P y con P+S se practica en pequeña escala en el Centro de Chaco.

A título de ejemplo en Tabla 6 se presenta el balance de P (entre aporte por fertilización y extracción por el cultivo) para soja en Argentina. La necesidad de Superfosfato Triple para cubrir el déficit actual de P (solo reposición de lo exportado) alcanza a 1.346.000 toneladas. La necesidad de fertilizante para recuperar o alcanzar el valor de 20 ppm de P por el método Bray, recomendable como nivel estratégico para suelos agrícolas, excede largamente a esa cantidad.

Tabla 6. Balance de P en soja para Argentina. Campaña 2004/05

Región/cultivo		Rendimiento kg/ha	Exportación P kg/ha	Fertilización P kg/ha	Déficit P en 10 ³ T de SPT
RPN	Soja de 1ª.	3200	21,5	6,3	608
	Soja de 2ª.	2250	15	5	276
RPS	Soja de 1ª.	2150	14,5	12	325
	Soja de 2ª	1050	7	8	15
NOA		2250	15	3	60
NEA		1850	12,4	-	62

Fuente: Elaboración propia en base a (3)

Bolivia

El cultivo fue introducido por productores de Mato Grosso do Sul, quienes justamente buscaban tierras de mayor fertilidad para producir con menores costos. Es incipiente la

fertilización fosfórica en el Norte de Santa Cruz y las dosis aplicadas no cubren el P exportado. En el Este de Santa Cruz no se fertiliza. La inoculación es una práctica habitual.

Uruguay

A comienzos de los 80' el cultivo fue introducido en escala comercial por productores de Rio Grande do Sul. Se incluía soja como cultivo antecesor de pasturas cultivadas para refinar campo natural o en rotación con arroz fertilizando con P. Actualmente toda la soja sembrada es inoculada y recibe fertilización fosfórica con dosis de arranque que no cubren la exportación.

Perspectivas de la fertilización en soja

Argentina

Existen posibilidades de continuar expandiendo el cultivo de soja en las 4 regiones argentinas. En RPN y en RPS por reemplazo de cultivos, pasturas y pastizales y avance sobre el Espinal (monte); en NOA por avance sobre el Chaco (monte) y Yungas (selva) y en NEA por reemplazo de cultivos y pastizales y avance sobre el Chaco (monte) y Selva Paranaense. Sin embargo el modelo usual deberá modificarse porque en general todas estas nuevas áreas presentan limitaciones, entre ellas de fertilidad. De forma espontánea y caótica técnicos y productores avanzan en la identificación de deficiencias nutricionales en todas las regiones.

En las áreas ya colonizadas por el cultivo se manifiestan deficiencias de forma consistente y progresiva. A las conocidas deficiencias de P se ha agregado la generalización de deficiencia de S. Es frecuente la información de respuesta a aplicación de B y B+ zinc (Zn). También se reportan respuestas al agregado de Mg y en menor medida a K. Esto alcanza a las 4 regiones sojeras argentinas. En algunas áreas será necesario corregir el pH edáfico antes de iniciar el cultivo, en particular en la Pampa Deprimida de Buenos Aires y en gran parte de los suelos salinos y salino-sódicos de la RPN (Bajos submeridionales y otros). Esta técnica tiene un costo accesible por la actual oferta de calcáreos agrícolas.

Sin embargo, de mantenerse el actual modelo tendiente al monocultivo sin reposición persistirá el déficit de C (el meganutriente), de N (el más importante de los macronutrientes) y de otros nutrientes (4). El doble y progresivo déficit de C y de N puede hacer colapsar el sistema cuando el cambio climático global descargue un stress térmico, hídrico o térmico-hídrico.

Existen experiencias empresariales exitosas de un modelo pampeano alternativo basado en 1. una secuencia de cultivos racional, 2. una fertilización tendiente a alcanzar y mantener niveles óptimos de nutrientes acumulables y suministro a suficiencia de nutrientes móviles y 3. un ajustado manejo de los cultivos implantados en siembra directa. A nivel experimental se están evaluando varias alternativas al monocultivo y en todas ellas la fertilización es un componente fundamental. Se presupone un incremento anual de uso de fertilizantes en soja superior a la media de incremento general de uso de fertilizantes (22% vs. 12%).

Bolivia

El cultivo continuará expandiéndose el departamento de Santa Cruz, con disponibilidad de tierras aptas para una agricultura mecanizada. Sin embargo, el rápido deterioro de las cualidades de los suelos utilizados con un modelo pampeano de producción-explotación, incluso con doble soja, exigirá mayor inversión en nutrientes para mantener la productividad y esto obligará a modificarlo. La pérdida de C edáfico es muy rápida y perjudica las propiedades favorables de los suelos tales como capacidad de infiltración de agua de lluvia.

En el Norte de Santa Cruz se esta difundiendo la fertilización fosfórica (5) con buenos resultados y existe información sobre respuesta a K y a S, no descartando que las respuestas se extiendan a micronutrientes. La situación en el Este de Santa Cruz difiere de la anterior en que no se hace doble soja y en que los suelos presentan mejores niveles de nutrientes; sin embargo deberá ponerse énfasis en lograr el balance neutro o "balance cero" de nutrientes incluido C. En Santa Cruz se esta planteando la búsqueda de un modelo productivo sojero compatible con la conservación y/o mejora del recurso. Es probable que ajustar el modelo "cerrados" al ambiente local puede ser un atajo en la búsqueda de una alternativa más amigable con el ambiente.

Uruguay

La disponibilidad de tierras para el cultivo no es tan abundante como en Argentina o en el Oriente boliviano y presentan limitaciones que incluyen pedregosidad, suelos someros, poca capacidad de infiltración y de almacenaje de agua y otras. Producto de fracasos anteriores la expansión sojera se esta realizando prudentemente en un marco rotacional que incluye pasturas mejoradas y otros cultivos para granos. En todos los casos se contempla la fertilización fosfórica del cultivo con dosis crecientes. Probablemente aumentarán las dosis usuales.

Conclusiones

La producción mundial de soja creció de 17 millones de toneladas en 1950 a más de 200 millones de toneladas en 2005 (datos USDA). Este aumento de 12 veces en la producción dependió de un incremento de 7 veces el área sembrada; mientras que los cereales triplicaron su producción en el mismo período pero basándose principalmente en incrementar su rendimiento por unidad de superficie. Lester R. Brown, director del Earth Policy Institute, menciona que producimos más soja sembrando más soja y la llama "cultivo hambriento de tierra". El estado actual del conocimiento permite afirmar que el cultivo no solo ha crecido en superficie sino que en Argentina (y en Bolivia) ha crecido devorando nutrientes y disminuyendo la fertilidad de los suelos. Sin embargo, no debe asignarse este deterioro a la soja en sí, sino a la forma, a los procesos o con más propiedad, al itinerario técnico que se utiliza para la producción del cultivo. Los procedimientos son los que definen la viabilidad a largo plazo de este agronegocio; si no se contempla el costo oculto de cultivar soja y no se cambian estos procedimientos probablemente deberemos enfrentar el deterioro irreversible de muchos de nuestros suelos. La fertilización racional de soja incluida en un itinerario técnico que conserve los recursos y servicios naturales involucrados es la única garantía de uso sostenible en el tiempo.

Bibliografía consultada

- (1) Sinclair, T.R. and C.T. de Wit 1976. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. *Agron J.* 68:319-234. *In* Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Satorre E. y otros. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- (2) Informaciones Agronómicas del Cono Sur n°4, diciembre 1999. INPOFOS.
- (3) Cástino, E. Tendencias en el uso de fertilizantes en Argentina. *In* Simposio Fertilidad 2005. INPOFOS y Asociación Civil Fertilizar.
- (4) Cordone, G y F. Martínez. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *In* Informaciones Agronómicas n° 24. Diciembre 2004.
- (5) Quevedo Camacho, J.C. Fertilización con fósforo y potasio en la zona Norte-Integrada de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *In* Informaciones Agronómicas n° 28. Diciembre 2005.