

NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN CON MACRO Y MICRONUTRIENTES

*Carmen Rosa Salamanca Solís¹
José Eurípides Baquero Peñuela²*

Dadas las características químicas de los suelos aptos para el cultivo de la soya en los Llanos Orientales, tanto en suelos aluviales recientes (vegas) como aluviales antiguos de terraza alta y Altillanura plana, en donde predominan suelos ácidos, de bajas bases intercambiables y bajos contenidos de fósforo y materia orgánica, la adición de los nutrientes esenciales para una adecuada nutrición y desarrollo de la planta es una práctica imprescindible que se debe realizar tomando como referencia el análisis de suelos en cada predio a cultivar.

El proceso de nutrición de las plantas tiene que ver además con la clase de nutrientes, las funciones que desempeñan, la manera como los absorben las plantas, la distribución dentro de ellas o la traslocación y relaciones con el suelo y el agua (Ortiz, 1986).

El efecto benéfico obtenido por la adición de los elementos minerales para mejorar el crecimiento de las plantas se ha conocido por más de 2000 años. La teoría de la nutrición fue creada por el químico Alemán Justus Von Liebig (Liebig, 1840), conceptos que son aceptados actualmente y considerados como disciplina científica.

Crterios de esenciabilidad de los nutrientes

El término de esenciabilidad de los elementos minerales fue propuesto por Arnon and Stout (1939) y posteriormente elaborado por Arnon (1950), citados por Malavolta (1999).

1 Ingeniera Agrónoma. M. Sc. en Suelos y Aguas. Investigadora Programa Recursos Biofísicos. CORPOICA, C.I. La Libertad. Villavicencio, Meta.

2 Ingeniero Agrónomo. M. Sc. en Suelos y fertilidad. Investigador Programa Recursos Biofísicos. CORPOICA, C.I. La Libertad. Villavicencio, Meta.

Para que un elemento sea considerado esencial según estos autores, debe cumplir los siguientes criterios:

- * La falta del elemento en el suelo puede causar el fracaso de todo el ciclo del cultivo.
- * La función de un elemento no puede ser remplazada por ningún otro elemento mineral.
- * El efecto puede ser directo en uno o más aspectos del metabolismo y crecimiento de la planta. Por ejemplo, ser componente de un constituyente esencial de la planta como una enzima. Los efectos indirectos pueden ser por antagonismos de otro elemento presente en concentración excesiva o tóxica, o por condiciones físicas adversas (compactación) o biológicas (un organismo patógeno) (Malavolta, 1999; Marschner, 1989).

Reservas naturales de nutrientes del suelo

El suelo es una fuente natural de nutrientes, pero en su mayor parte en forma no disponible para las plantas. Varios procesos se necesitan para hacerlos disponibles:

- Descomposición biológica de la materia orgánica (mineralización).
- Reacciones químicas sobre los minerales del suelo (intemperismo).
- Extracción de las partículas del suelo.

Esta liberación es demasiado pequeña para compensar los nutrientes removidos por la producción agrícola, especialmente en los trópicos húmedos donde los suelos son fuertemente intemperizados. El suelo es gradualmente empobrecido de nutrientes, cuando los removidos no son reemplazados (Laegreid et al., 1999).

Requerimientos nutricionales del cultivo de soya

Los fertilizantes minerales son usados como complemento de los nutrientes disponibles del suelo, tomados por el cultivo durante el ciclo de vida y la producción. Las plantas forman materiales orgánicos complejos a partir del dióxido de carbono (CO₂) tomado del aire, energía captada del sol, agua y nutrientes inorgánicos tomados del suelo. Los nutrientes pueden estar disueltos en la solu-

ción del suelo en orden para ser disponibles para la planta o materia orgánica del suelo y pueden estar fragmentados o mineralizados en moléculas simples que pueden ser utilizados por las plantas.

Los nutrientes de las plantas están divididos en tres grupos:

1. Macronutrientes o nutrientes primarios: Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).
2. Mayores o nutrientes secundarios: Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).
3. Micronutrientes se refiere a algunos elementos traza: Cloruro (Cl), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni).

Los nutrientes primarios y secundarios son requeridos en grandes cantidades, aunque hay variaciones entre cultivos. Son componentes de las proteínas, ácidos nucleicos y clorofila. Son esenciales en los procesos de transformación de energía, mantenimiento de la presión interna de la planta y en la función enzimática.

Los micronutrientes son requeridos en pequeñas cantidades. Tienen funciones en el metabolismo de las plantas y la mayoría son constituyentes de las enzimas (Laegreid et al., 1999).

La investigación realizada para determinar los requerimientos nutricionales del cultivo de la soya es amplia y presenta diferencia en cuanto a las cantidades de nutrientes requeridos. Este efecto es debido principalmente a factores como tipo de suelo, concentración de nutrientes, genotipos, condiciones climáticas, sistema de cultivo y producción obtenida en cada lugar donde se han realizado estos estudios.

En una revisión de literatura realizada por Sfredo y colaboradores (1986), se reseña que el orden de conocimiento en la exigencia nutricional de la soya es N, K, Ca, Mg, P y S y que la máxima acumulación de todos los nutrientes se encontraba entre los 82 y 92 días de edad de las plantas, en variedades de 120 días de período vegetativo en zonas subtropicales.

En suelos extremadamente ácidos (Oxisoles) de los Llanos Orientales de Colombia, Sánchez y otros (1991) encontraron que de los macronutrientes el K era el menos limitantes para el cultivo de la soya en esta región, con suelos previamente encalados con 1.5 t.ha^{-1} de cal dolomita.

El cultivo de soya requiere de cantidades apreciables de nutrientes para obtener altas producciones y buena calidad de grano. Algunos autores consideran que es uno de los cultivos que más extrae nutrientes en comparación con otras especies anuales (Monomeros, 1993).

De acuerdo con información tomada de diferentes fuentes, la extracción de nutrientes mayores para la producción de 3 t.ha⁻¹ de granos puede variar entre las siguientes cantidades (Monomeros 1993); así mismo la extracción de micronutrientes para estas cantidades de grano por hectárea son reseñadas por Mortved y Lindsay (1972). Tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales del cultivo de la soya para producir tres toneladas por hectárea.

Nutriente	Cantidad promedio (kg.ha ⁻¹)
N	220 – 275
P ₂ O ₅	50 – 65
K ₂ O	120 – 150
Ca	60 – 70
Mg	15 – 25
S	15 – 20
Zn	3.0 – 4.5
Cu	1.0 – 1.5
B	0.44 – 0.66
Mo	0.40 – 0.60

Tomado de: Monomeros Colombo Venezolanos (1993) y adaptado de Mortved y Lindsay, 1972.

Absorción de macronutrientes por la soya

La absorción de los macronutrientes por el cultivo de la soya está dada principalmente por el modelo de acumulación de materia seca de la planta. En términos generales, la absorción de nitrógeno es intensa a partir de los primordios florales (25 a 35 días de emergencia) hasta el llenado de las vainas (85-90 d.d.e). Entre la floración y el inicio del llenado de las vainas se absorbe cerca del 50% del total de nitrógeno requerido por la planta. La principal fuente de nitrógeno para la soya proviene del nitrógeno atmosférico mediante el proceso de fijación simbiótica; la proporción de nitrógeno absorbido por este proceso es variable (25% a más del 75%), donde intervienen condiciones del suelo, clima, manejo, variedad, e incluso la aplicación de nitrógeno inorgánico.

Teniendo en cuenta que existe una baja intensidad en la absorción de nitrógeno por la soya en la emergencia de plántulas e inicio de formación de vainas,

pero altos requerimientos de nitrógeno en estas etapas, se han encontrado respuestas a la aplicación complementaria de nitrógeno con fuentes inorgánicas en pequeñas cantidades (10-20kg.ha-1), lo cual ha beneficiado la producción de grano, sin afectar significativamente el proceso de fijación simbiótica (Monomeros, 1993).

La absorción de fósforo y potasio sigue el modelo de producción de materia seca, el cual es lento en la parte inicial y se incrementa notoriamente a partir de la floración y hasta el llenado de granos.

El potasio es absorbido en mayores cantidades que el fósforo y su tasa de absorción es más intensa entre la floración y la formación de vainas. El fósforo, por su parte, continúa su absorción hasta la maduración de granos.

Cerca del 75% del N y del P y un 60% del K total encontrado en los tallos y hojas se traslocan a los granos y aproximadamente un 50% de la cantidad de estos nutrimentos presentes en las semillas provienen de traslocación de tallos y hojas y otro 5% de la absorción directa del suelo durante la formación y llenado de estos, (Monomeros, 1993).

Funciones de los macro y micronutrientes

Los macro y micronutrientes pueden desempeñar tres grandes funciones en las plantas: promoción, formación y desarrollo de las estructuras, formación de grupos proteicos, regulación enzimática (activación, inhibición). Una cuarta función es la regulación y balance osmótico de algunos elementos, como: K, Na y Cl. Recientemente se ha descubierto la relación entre la nutrición mineral y la resistencia a enfermedades.

El flujo continuo de nutrientes desde la hoja depende de cada elemento y son generalmente clasificados como:

Altamente móviles N, K, Na; móviles P, Mg; parcialmente móviles Cu, Fe, Mn, Mo, Zn; prácticamente inmóviles Ca y B (Hu y Brown, 1977, citados por Malavolta, 1999).

Efecto de las micorrizas en la nutrición de las plantas

La asociación mutualista entre hongos benéficos del suelo y las raíces se denomina micorriza, debido a la red hifal que se forma alrededor del sistema

radicular e incrementa la longitud y volumen de las raíces. Como consecuencia la toma de nutrientes, particularmente de P, se incrementa y el crecimiento y producción son frecuentemente aumentados. Se ha demostrado que la asociación es benéfica para ambos organismos.

La capacidad de las hifas externas para absorber y transformar nutrientes de las raíces ha sido demostrada bajo condiciones experimentales; la hifa externa puede entregar a la planta el 80% de P, 25% de N, 10% de K, 25% de Zn y 60% de Cu. Con soya se mostró incremento en el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn y Zn, al inocular con *Glomus macrocarpum* (Malavolta, 1999).

Cálculo de la fertilización

Para suministrar los nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo de soya y aumentar la productividad u obtener las producciones esperadas, se requiere el uso de fertilizantes asociados a la irrigación.

La fertilización se calcula con base en los siguientes factores:

$$\text{Fertilización} = (A-B) \times F$$

A = Cantidad de nutrientes extraídos por la planta para formar su raíz y parte vegetativa.

B = Cantidad de nutrientes suministrados por el suelo.

F = Factor de corrección para compensar las pérdidas debidas a la volatilización, lavado o fijación en el caso del fósforo. Para los macronutrientes la eficiencia de utilización recomendada en condiciones tropicales es de 40-60 para N, 10-20 para P_2O_5 y 40-70 para K_2O (Malavolta, 1999).

Sin embargo, estas fórmulas para determinar las necesidades de la fertilización del cultivo de la soya requieren ser ajustadas con trabajos de campo, donde se evalúen diferentes dosis, fuentes, épocas, métodos y formas de aplicación de nutrientes. De forma que se pueda conocer efectivamente las cantidades y las fuentes más adecuadas, así como las épocas y métodos de aplicación más eficientes de cada uno de los nutrientes esenciales y sus principales efectos limitantes. Sobre este aspecto, durante varios años, se han realizado este tipo de trabajos en los suelos de vegas y vegones como de terraza alta y Altillanura

plana de los Llanos Orientales, lo que ha permitido obtener las recomendaciones nutricionales apropiadas para cada uno de estos ecosistemas.

Análisis de suelo

El análisis de suelo se usa como una herramienta que, en conjunto con la información del entorno, es muy útil en el diagnóstico de la fertilidad del suelo y en el cálculo de las recomendaciones que permiten el uso eficiente de los fertilizantes. Además, sirve para monitorear el estado de la fertilidad del suelo a través de los años para conocer si se conservan, mejoran o degradan las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

Fertilización del cultivo de soya en los Llanos Orientales

Para asegurar altos rendimientos en el cultivo de soya en los suelos de los Llanos Orientales es necesario realizar la fertilización de acuerdo con el análisis de suelo y a los niveles críticos de los elementos, con el fin de suministrar los nutrimentos que requiere el cultivo. Además, se deben usar las fuentes, dosis, métodos de aplicación y época de acuerdo con las recomendaciones técnicas.

La mayoría de los suelos de vega presentan niveles medios a altos de fósforo y potasio como se puede observar en el análisis de caracterización, Tabla 2. Algunos presentan deficiencia de calcio, magnesio y otros, de elementos menores que pueden limitar la producción al presentar un desbalance nutricional para las plantas; por lo tanto, es necesario corregirlas.

Los suelos de terraza alta y Altillanura se caracterizan por la acidez, baja capacidad de intercambio catiónico, toxicidad de aluminio y/o manganeso, baja

Tabla 2. Análisis de caracterización de los suelos de los paisajes de vega, Terraza alta y Altillanura.

Paisaje	Text.	pH	Acid. Interc.	M.O. (%)	P ppm	Al	Ca	Mg	K	Na
						Meq/100 g. de suelo				
Vega ¹	FArA	5.2		1.2	55	0.8	1.68	0.27	0.12	0.20
Vega ²	F	5.1		1.2	18	0.3	2.00	0.51	0.12	0.13
Terraza Alta ³	FA	4.7	2.7	3.8	9	1.9	0.88	0.34	0.14	0.09
Altillanura ⁴	FArA	4.8	3.0	4.3	2	2.2	0.25	0.09	0.05	0.16

¹ Granada. ² Villavicencio. ³ Granada. ⁴ Puerto López. Laboratorio de suelos Corpoica, Villavicencio, 2001.

disponibilidad de fósforo y deficiencias de la mayoría de nutrientes esenciales para el cultivo de soya, Tabla 2.

En las Tablas 3 y 4 se presentan las recomendaciones de P_2O_5 y K_2O para el cultivo de la soya en los suelos de los Llanos Orientales, de acuerdo a los niveles críticos establecidos por el ICA, (1992).

Tabla 3. Recomendaciones de P_2O_5 para el cultivo de soya en suelos de los Llanos Orientales.

Contenido P (ppm) Bray II	Nivel crítico	Dosis recomendada (kg/ha)
menor de 10	Muy bajo	75 - 100
11 - 15	Bajo	50 - 75
16 - 30	Medio	25 - 50
mayor de 30	Alto	0 - 25

Fuente: ICA, 1992.

Tabla 4. Recomendaciones de K_2O para el cultivo de soya en los Llanos Orientales.

Contenido K (cmol.kg ⁻¹)	Nivel crítico	Dosis recomendada (Kg/ha)
menor de 10	Muy bajo	75 - 90
0.10 - 0.15	Bajo	50 - 75
0.16 - 0.30	Medio	25 - 50
mayor de 0.30	Alto	0 - 25

Fuente: ICA, 1992.

De otra parte, las investigaciones realizadas en suelos de la Altillanura plana en los sistemas de producción de cultivos anuales (maíz-soya) han permitido establecer los niveles críticos tentativos para fósforo y potasio, los cuales deben ser ajustados en la medida en que la investigación avance sobre este tema específico. En las tablas 5 y 6 aparecen estos niveles críticos tentativos para P y K respectivamente.

Tabla 5. Niveles críticos tentativos de fósforo y dosis recomendada de P_2O_5 en el sistema de rotación maíz soya en suelos de la altillanura plana de la Orinoquia Colombiana.

Contenido de P en el suelo (mg.kg ⁻¹) (Bray II)	Nivel crítico	Dosis recomendada de P_2O_5 (Kg.ha ⁻¹)
Menor de 5	Muy bajo	90 - 120
6 - 10	Bajo	60 - 90
11 - 20	Medio	30 - 60
Mayor de 20	Alto	15 - 30

Fuente: ICA, 1992.

Tabla 6. Niveles críticos tentativos de potasio y dosis recomendada de K_2O en el sistema de rotación maíz soya en suelos de la Altillanura plana de la Orinoquia Colombiana.

Contenido de K en el suelo ($cmol.kg^{-1}$) (Bray II)	Nivel crítico	Dosis recomendada de K_2O ($Kg.ha^{-1}$)
Menor de 5	Muy bajo	90 -120
0.06 - 0.10	Bajo	60 - 90
0.11 - 0.20	Medio	30 - 60
Mayor de 20	Alto	15 - 30

Fuente: ICA, 1992.

Diagnóstico foliar

El análisis foliar con criterios fisiológicos y económicos fue dado por Malavolta y Pimentel (1961), y Malavolta y Cruz, (1971), quienes definieron como nivel crítico el rango de un elemento dado en la hoja, por debajo del cual la producción está limitada y por encima del cual el uso de fertilizantes no es económicamente viable.

El análisis foliar es una herramienta de diagnóstico que se refiere al análisis cuantitativo del contenido de macro o micronutrientes en la planta o en parte de ella y se asume que la concentración de nutrientes en la planta está directamente relacionada con la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo.

Tabla 7. Concentraciones de nutrimentos en hojas de soya.

Elemento	Estado nutricional de la planta		
	Deficiente	Normal	Tóxico
Nitrógeno (%)		2.7 - 3.5	
Fósforo (%)	menor de 0.2	0.3 - 0.46	
Potasio (%)	menor de 2.0	2.5 - 2.73	
Calcio (%)	menor de 0.8	1.5	
Magnesio (%)		0.6	
Azufre (%)		0.25	
Boro (ppm)	menor de 20	30 - 60	mayor de 100
Manganeso (ppm)	menor de 15	35 - 120	mayor de 250
Hierro (ppm)	menor de 50	100	mayor de 200
Cobre (ppm)	menor de 10	15 - 25	mayor de 30
Zinc (ppm)	menor de 20	30 - 45	mayor de 75
Molibdeno (ppm)	menor de 0.5	2	mayor de 10

Fuente: Jones, 1972; Nelson y Barber, 1964; citados por Howeler, 1983.

Diagnóstico nutricional del cultivo de la soya

Las deficiencias de nutrientes son a menudo difíciles de identificar debido a que diferentes factores pueden causar síntomas similares. Comúnmente, los análisis foliares se usan para comparar plantas normales con plantas que presentan síntomas de deficiencia, Tablas 7 y 8.

Tabla 8. Descripción de los síntomas de deficiencia (D) y excesos (E) más frecuentes en el cultivo de soya.

Síntomas Elemento	P									
	K	Ca	Mg	S	B	Mb	Zn	Al	Mn	Poca
Nodulación	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Hojas viejas amarillentas.	D									
Clorosis y necrosis de las puntas y márgenes de las hojas más viejas, menor formación de granos, granos pequeños, mayor incidencia de enfermedades y nematodos.		D								
Raíces mal desarrolladas, colapso del pecíolo de las hojas.			D							
Hojas nuevas con clorosis entre nervaduras.				D						
Clorosis uniformes en hojas nuevas					D					
Muerte de las yemas terminales, hojas nuevas pequeñas y deformadas.						D				
Hojas nuevas angostas con manchas grandes de color ferroso							D			
Hojas nuevas con puntas pardas.										E

Fuente: INPOFOS, 1993.

- Además de las adecuadas prácticas de nutrición y fertilización para una óptima producción, es necesario tener en cuenta la selección del lote, variedad a sembrar, manejo fitosanitario y una eficiente recolección, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

1. HOWELER, RH. 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales; algunos cultivos tropicales. Ciat, Cali, Colombia. 28 p.
2. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia técnica. No. 25. Bogotá. 30 p.
3. INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FÓSFORO (INPOFOS). 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Quito, Ecuador. 55 p.
4. LAEGREID, M.; BOCKMAN, OC.; KAARSTAD, E.O. 1999. The basis for food production plant nutrients. In: Agriculture Fertilizers and the Environment. Hydro, Cabi Publishing. ISBN O 851993583.
5. MALAVOLTA, E. 1999. Mineral Nutrition of Higher Plants: The first 150 years. In: Soil Fertility, Soil Biology and Plant Nutrition Interrelationships. Editores: José Oswaldo Sigueira et al. Vicoso: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, pp. 51-122.
6. MARSCHNER, H. 1989. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. pp. 3-5.
7. MORTVEDT, Y.J.; GIORDANO, P.M.; LINSAY, W.L. 1972. Micronutrientes en Agriculture. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. pp. 347-387.
8. MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS. 1993. Soya. En: Fertilización de cultivos en clima cálido. (Ed.) Guerrero, R.R. ISBN. 985-95295-1-8. pp. 253-267.
9. SALAMANCA S., C.R. 1998. Nutrición y uso racional de los fertilizantes en el cultivo de soya. En: Tecnología para la producción de soya y usos alternativos en el Piedemonte Llanero. Manual de asistencia técnica No. 02. Corpoica-Coagro. Villavicencio. pp. 11-19.
10. SÁNCHEZ, L.F.; BAQUERO, I.E.; MUNEVAR, F. 1991. Limitantes nutricionales para el establecimiento del cultivo de la soya en oxisoles de los Llanos Orientales. Suelos ecuatoriales. Vol. XXL, (1). 5-16.
11. SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.T.; BORKERT, C.M. 1986. Soja: nutricao mineral, adubacao e calagem. Landrina, embrapa-CNP So, 51 p. (Documento 17).
12. SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. 1995. Correcao do Solo e Adubacao da cultura de soja. Circular Técnica No. 33. ISSN 0102-0102. Embrapa-DPAC. Planaltina, D.F. 30 p.