

# FUENTES ORGÁNICAS Y ÓRGANO MINERALES PARA LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS. PERSPECTIVAS

Gustavo Crespo

*Instituto de Ciencia Animal*

## Resumen

Con frecuencia los abonos órgano-minerales han sido utilizados en la agricultura en sustitución de los fertilizantes minerales, sin embargo, los materiales orgánicos que tradicionalmente se han usado para la confección de éstos, como los residuos de las cosechas y las excretas de los animales, no suelen suplir las demandas de nutrientes de los cultivos en áreas extensas debido, entre otras razones, a las disponibilidades limitadas de los mismos, al bajo contenido de nutrientes y a las numerosas labores que exigen su procesamiento y aplicación.

El objetivo del presente trabajo es discutir el efecto del uso combinado de fuentes orgánicas y minerales de nutrientes para satisfacer las demandas de las cosechas y mantener ó restaurar la fertilidad del suelo.

Palabras claves: abonos órgano-minerales, cultivos, suelos, sincronía.

## Desarrollo

### Efecto de los materiales orgánicos en el suelo

Los materiales orgánicos influyen en la disponibilidad de nutrientes del suelo, el control de los patrones netos de mineralización-inmovilización, las fuentes de C y energía procedentes de la actividad microbiana, la adición de precursores de la MOS, el acomplejamiento de cationes tóxicos y la disminución de la capacidad de sorción del P.

Además de estos efectos directos sobre la disponibilidad de nutrientes, los materiales orgánicos pueden influir en el crecimiento de la raíz y en las propiedades físicas del suelo que, de hecho, tienen influencia en la asimilación de nutrientes y en el crecimiento de las plantas. El efecto neto de estos mecanismos difiere con el régimen climático, el tipo de suelo y la calidad y cantidad de los materiales orgánicos.

### Fuentes de nutrientes

Los materiales orgánicos, tales como los estiércoles, los cultivos de cobertura y los abonos verdes se han valorado, generalmente, por sus concentraciones de N; sin embargo, se ha prestado poca atención a sus contenidos de macro y micro nutrientes y deben ser considerados como fertilizantes completos.

Los contenidos de nutrientes de los materiales orgánicos, desde los residuos de cosechas hasta los desperdicios agroindustriales, varían ampliamente y, aunque todos los nutrientes presentes en los mismos no se presentan en estado rápidamente disponibles para las plantas, sus valores se pueden usar para conformar abonos y estimar sus efectos en el rendimiento de los cultivos. Se sabe que la recuperación de N de una cosecha de abono verde de leguminosas de alta calidad raramente excede de 20 %, mientras que el N que se recupera de los rastrojos de cereales de baja calidad es mucho menor.

### Factores que regulan la descomposición, liberación e inmovilización de los materiales orgánicos en el suelo

Los patrones de descomposición y liberación de nutrientes de los materiales orgánicos en el suelo están determinados por factores climáticos, edáficos y por la calidad del recurso orgánico. Este último es el más fácil de manejar por los campesinos y, en este sentido, la concentración de N y la relación C/N son los indicadores más útiles. Así, concentraciones de

N entre 18 - 22 g kg<sup>-1</sup> en los tejidos vegetales, producen una mineralización neta de la materia orgánica, aunque no todos los materiales orgánicos con alto contenido de N exhiben o muestran alto grado de mineralización.

Un contenido de lignina >150 g kg<sup>-1</sup>, disminuye considerablemente la liberación del N, mientras que contenidos de polifenoles > 30 - 40 g kg<sup>-1</sup>, producen total inmovilización de este nutriente y en este caso la inmovilización causada por la concentración de taninos condensados, es más prolongada que la que se produce temporalmente debido a la alta relación C/N en los residuos de cosechas de los cereales.

Los patrones de mineralización neta de P están determinados, en primera instancia, por la concentración de P en el tejido vegetal. Así, un contenido de P > 2.5 g kg<sup>-1</sup> inmoviliza este nutriente. Por otra parte, se han encontrado materiales que muestran una mineralización total del N pero una inmovilización del P, y viceversa.

Los recursos orgánicos tradicionales, como los residuos de cosechas de cereales y los estiércoles vacunos presentan, comúnmente, contenidos de N menores que el nivel crítico y, al menos temporalmente, lo inmovilizan.

Aún cuando los residuos de cosecha y otros materiales orgánicos de baja calidad, pueden obtenerse en grandes cantidades, ellos producen la inmovilización del N y del P, al menos temporalmente, después de su aplicación en el suelo. Este efecto negativo se compensa mediante la combinación o mezcla de estos materiales con N inorgánico o con materiales de alta calidad que posean contenidos > 20 g kg<sup>-1</sup> de N ó > 3 g kg<sup>-1</sup> de P.

Muchos abonos verdes presentan valores equivalentes de fertilizantes de 50 a 100 kg N ha<sup>-1</sup>, pero con frecuencia no se brinda información acerca de la dosis de aplicación de estos abonos, ni de sus contenidos en otros nutrientes. Este tipo de abono influye en las propiedades físicas del suelo, que afectan positivamente la absorción y eficiencia del uso de los nutrientes que ellos aportan.

Será necesario ampliar el conocimiento acerca del valor como fertilizante de los residuos de cosechas de mayor disponibilidad en la agricultura de cada región, con el objetivo de convertirlos en abonos orgánicos de alta eficiencia.

### **Fuente de energía y carbono para los organismos del suelo**

Los microorganismos del suelo sirven como fuente y sumidero de nutrientes y su actividad, además de los productos que resultan de la descomposición de los materiales orgánicos, se consideran los factores primarios que participan en el control del ciclo de los nutrientes y en la disponibilidad de los mismos. Las adiciones de residuos orgánicos incrementan el tamaño de las poblaciones microbianas y sus actividades, las tasas de mineralización de C y de N y las actividades enzimáticas, las cuales afectan el ciclo de los nutrientes.

Con frecuencia el C es el elemento que más limita el crecimiento microbiano y su actividad en los suelos y, por ello, la cantidad y calidad del carbono y su actividad metabólica, podrán influir en las tasas del ciclo de los nutrientes.

Las aplicaciones de C orgánico también producen cambios en la distribución de los nutrientes en las fracciones orgánicas e inorgánicas del suelo debido al incremento de la actividad microbiana. Esta redistribución afectan los patrones de disponibilidad de los nutrientes y la eficiencia de su uso, en dependencia de la calidad del material orgánico aplicado.

En resumen, el aporte de C al suelo mediante los restos de cosechas, particularmente de sus fracciones más solubles, modifican la tasa de acumulación y disponibilidad de los

nutrientes en el suelo. No obstante, serán necesarias nuevas investigaciones que permitan determinar las mejores proporciones o mezclas de restos de cosechas de diferente calidad con fuentes inorgánicas, que resulten en alta eficiencia en el suministro de nutrientes y en la disminución de sus pérdidas.

### **Precusores de la materia orgánica del suelo**

La única aplicación de fertilizantes inorgánicos solamente disminuye el contenido de MO del suelo, pero si se combinan con materiales orgánicos, se logran mantener los niveles de este indicador en valores apropiados. Sin embargo, es necesario investigar más acerca del efecto de la cantidad y la calidad de los materiales orgánicos sobre el contenido y la naturaleza de la MOS. En este sentido, en numerosos experimentos se han evaluado materiales orgánicos de diferente calidad y dosis de aplicación, lo cual dificulta la interpretación real de los resultados aunque, en general, los materiales con alta relación C/N y elevado contenido de lignina, favorecen la formación de la MOS).

Ciertas fracciones, como la biomasa microbiana y la fracción ligera, se han correlacionado positivamente con la mineralización y la disponibilidad del N, aunque todavía no queda claro cómo la calidad de los materiales orgánicos afecta o influye en las diferentes fracciones de la MOS.

En general, las enmiendas orgánicas deben incrementar la MOS en dependencia de la cantidad y calidad del material añadido. Pocos experimentos se han controlado para evaluar los efectos separados de la cantidad y la calidad del material orgánico y que hayan incluido mediciones de las fracciones de la MOS resultantes. Tales experimentos y mediciones son necesarios para poder identificar posibles relaciones entre insumos orgánicos, contenido de MOS y composición y producción de las cosechas. Esta información también es necesaria para determinar cuantos tipos de diferentes materiales orgánicos producen efectos residuales en términos de valores de sustitución de nutrientes.

### **Comportamiento del fósforo del suelo con las aplicaciones de materiales orgánicos**

Se conoce que los materiales orgánicos reducen la capacidad de sorción de P del suelo y elevan su disponibilidad. La magnitud y duración de esto varía con el tipo de suelo, la calidad del material orgánico y las cantidades añadidas. En general, materiales con  $>2.5 \text{ g P kg}^{-1}$  reducen la capacidad de sorción de P por el suelo.

El mecanismo más comúnmente citado se refiere a la acción de los ácidos orgánicos que se producen durante la descomposición o la exudación de la raíz. Se considera que los aniones orgánicos acomplejan (o quelatan) los iones de Fe y Al en la solución del suelo, previniendo así la precipitación del fosfato y reduciendo la toxicidad del Fe y el Al, compiten con el P por los sitios de sorción y solubilizan el P de los fosfatos insolubles de Ca, Fe y Al.

El problema práctico que se presenta entonces es: ¿podrán los productos orgánicos decrecer la sorción de P e incrementar su disponibilidad en el suelo bajo las circunstancias actuales en que el campesino utiliza varios tipos y dosis de abonos orgánicos?

Aplicaciones de hojas de materiales orgánicos de alta calidad, como la tithonia [*Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray] combinado con fertilizantes fosfóricos en un ensayo en macetas proporcionó mayor producción de biomasa y mayor absorción de P al compararlo con iguales cantidades de fertilizantes fosfóricos. Se encontró un beneficio añadido del tratamiento orgánico-inorgánico al compararse con el inorgánico solamente (tabla 1).

En otro experimento de campo se encontró que la aplicación de tithonia redujo la sorción de P en el suelo durante 16 semanas y ello debe tenerse en cuenta para el crecimiento vegetal y la absorción de P de las fuentes combinadas.

Tabla 1. Peso seco de plantas de maíz de dos meses de edad tratadas con iguales cantidades de N, P y K añadidos como abono verde de *Tithonia diversifolia* o como nutriente inorgánico.

Tratamiento	Nutrientes añadidos			Peso de maíz g maceta <sup>-1</sup>
	N	P	K	
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
Control	0	0	0	1.09
Abono verde de tithonia	170	14	230	6.04
Fertilizante N-P-K	170	14	230	4.58
Abono verde de tithonia + P inorgánico	170	39	230	10.30
Fertilizante N-P-K +P	170	39	230	6.23
LSD(P= 0.05)				1.02

### Combinación de fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrientes

Tal y como se ha señalado, el efecto de los materiales orgánicos es variado y complejo y el desafío está en usar materiales de diferente calidad, en combinación con fertilizantes inorgánicos, con el objetivo de optimizar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

El término interacción se usa frecuentemente para describir los efectos netos del uso combinado de fuentes orgánicas e inorgánicas. Para algunos, este término implica algún efecto mágico de los materiales orgánicos, mientras que para otros significa una interacción estadística. Es más adecuado hablar de los beneficios añadidos o las desventajas que resultan del uso combinado de insumos orgánicos e inorgánicos, comparado con el uso de fuentes inorgánicas solas.

En general, los nutrientes añadidos con los materiales orgánicos son aditivos a aquellos que se suministran con las fuentes inorgánicas. Los beneficios o desventajas de las aplicaciones combinadas están presumiblemente relacionados con la calidad del C del material orgánico y su efecto en la disponibilidad de nutrientes.

Desdichadamente, existe poca información de los efectos integrados de los materiales orgánicos y los inorgánicos sobre la disponibilidad neta de los nutrientes que pudiese brindar una guía para el manejo combinado de los mismos. Una revisión de los modelos de simulación suelo-cultivos y de ensayos de campo realizados en el pasado, pudiera proporcionar un punto de partida para evaluar la importancia relativa de los variados efectos de los materiales orgánicos de diferentes calidades.

En numerosos ensayos se han comparado los rendimientos de cultivos con la aplicación de fertilizantes inorgánicos (A), materiales orgánicos (B) o la combinación (A + B), y en muchas situaciones (A + B) produjeron rendimientos mayores que A ó B solo. Esto no debe sorprendernos, ya que con dicha variante se añaden más nutrientes que con A ó B solos.

Los nutrientes de las fuentes orgánicas están consideradas de una manera aditiva (1 A + 1 B) al de la fuente inorgánica, en lugar de mirar el valor de la sustitución (x A + y B, donde la suma de x e y es igual a 1).

A pesar de la inexactitud de muchos experimentos, podemos indicar algunas observaciones con relación a los resultados que se han obtenido con la combinación de fertilizantes nitrogenados y algunos abonos orgánicos de diferente calidad sobre el rendimiento de diversos cultivos.



4. Los materiales orgánicos reducen la sorción de P por el suelo mineral, haciendo más disponible el P inorgánico que se añade.	0 a ++
5. Repetidas aplicaciones de materiales orgánicos añaden importantes cantidades de N y P orgánico en el suelo, que pueden sustituir, parcialmente, las adiciones inorgánicas.	++
6. Los materiales orgánicos incrementan el crecimiento de la raíz, lo que hace que las plantas estén en mejores condiciones para utilizar el fertilizante	+
7. Los materiales orgánicos reducen la población de plantas indeseables, por lo que se reduce la competencia por el fertilizante inorgánico.	++
<sup>1</sup> <b>+ beneficio, ++ beneficio añadido, 0 pequeño impacto ó neutral; - desventaja</b>	

### Modelos de simulación

La integración de las numerosas y complejas funciones de los diversos materiales orgánicos en la fertilidad del suelo y el crecimiento de los cultivos deberán ser asistidos por modelos de simulación. Sin embargo, los modelos serán buenos, si los datos que se utilizan para construirlos son los más exactos posibles, aunque todavía existen vacíos en los conocimientos sobre el efecto de los materiales orgánicos de diferente calidad y sus interacciones con los fertilizantes inorgánicos, sobre todo en la modificación de la disponibilidad de los nutrientes en el suelo. Por ello, será necesaria mayor cantidad de experimentos controlados para el desarrollo y validación de los modelos. Una vez que esto se logre, ellos pueden asistir en la evaluación de combinaciones orgánicas-inorgánicas y en la selección y optimización de dichas combinaciones.

Los modelos que podrán ser usados para investigar los efectos combinados de los insumos orgánicos e inorgánicos deberán tener la capacidad para:

- (i) Recomendar insumos orgánicos de diferente calidad, con capacidad de descomposición que incluya parámetros de calidad orgánica
- (ii) Establecer relaciones entre la calidad orgánica y la formación de diferentes fracciones de la MOS.
- (iii) Proponer modelos de producción de cultivos sensibles a cambios de corta duración en la disponibilidad de nutrientes, y
- (iv) Proponer modelos que caractericen la dinámica del N y el P, y que sean capaces de describir cómo la absorción del P es afectada por la dinámica del N y P de los materiales orgánicos.

Los modelos varían considerablemente en la habilidad para manipular materiales orgánicos de diferente calidad.

En este sentido, los modelos *BEMEX* incluyen la descomposición y la dinámica del N en los residuos de cereales y leguminosas y para ello toman en cuenta la relación C/N del material orgánico (Baeyens et al 2000, citado por Vandendriesche et al, 2001).

En el modelo *CENTURY* se tiene como primera consideración la relación lignina/nitrógeno, para estimar la descomposición y mineralización del N de los materiales orgánicos (Parton

et al., 1989). Por su parte, en este modelo se incluyó el efecto de los polifenoles y su capacidad de unirse a la proteína en la dinámica y la disponibilidad del N, el cual es particularmente importante en los sistemas que incluyan leguminosas.

Los modelos que simulan el comportamiento del P en los sistemas suelo-planta-animal tuvieron una base físico-química, pero ignoraron las formas orgánicas de dicho nutriente y su reciclaje.

Sin embargo, la fortaleza del modelo *CENTURY* estriba en su habilidad para predecir cambios de larga duración en la MOS, aunque no simula la disponibilidad de nutrientes a corto plazo, ni simula bien la producción de cultivo debido a que son mensuales los escalones de tiempo que predice o valora.

Es opinión de diversos autores de que los modelos de simulación existentes no satisfacen totalmente las necesidades de los investigadores y los extensionistas de los países en desarrollo.

Los principales problemas que necesitan atención son la capacidad para simular las dinámicas del P y la descomposición de un grupo amplio de residuos de cosechas y de materiales orgánicos de mayor calidad en los sistemas agrícolas tropicales. El desarrollo de modelos que puedan ser usados en tales situaciones para hacer la selección de mezclas apropiadas de materiales orgánicos e inorgánicos requerirá la estrecha interacción entre los modeladores y los extensionistas.

### **Conclusiones**

Muchos agricultores en el mundo combinan fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrientes para tratar de satisfacer las demandas de las cosechas pero, generalmente, los rendimientos que obtienen están muy por debajo del potencial, debido a las inadecuadas cantidades añadidas, a la baja calidad de los materiales orgánicos y a las inapropiadas e ineficientes combinaciones. Dado el alto costo y la incierta accesibilidad de los fertilizantes inorgánicos, la meta debe ser proporcionar más nutrientes con los insumos orgánicos. Donde la cantidad y calidad de los materiales orgánicos sea baja será necesario encontrar alternativas de materiales orgánicos de alta calidad para ser incorporados en los sistemas agrícolas actuales.

A pesar de que en numerosos ensayos de campo se han evaluado combinaciones de abonos orgánicos e inorgánicos, no ha sido posible recomendar una guía práctica para la aplicación. En términos generales, los diseños experimentales han sido inadecuados y han proporcionado poca información sobre la calidad de los insumos orgánicos. Los fertilizantes inorgánicos pueden compensar el efecto negativo de los materiales orgánicos de baja calidad, pero hasta dónde y en qué cuantía no se puede especificar todavía. Por su parte, los materiales orgánicos de alta calidad pueden sustituir a los fertilizantes inorgánicos, pero no se tiene una guía clara que relacione la calidad del material orgánico con su valor sustitutivo en nutrientes.

Estas directivas podrán ejecutarse cuando se establezcan vínculos precisos entre la calidad de los materiales orgánicos y sus valores equivalentes en fertilizantes, en términos de corta y de larga duración y la formación de la MOS. Estas guías deberán incorporar el conocimiento de los agricultores sobre los materiales disponibles, su ubicación y los tipos de suelos y sus nutrientes limitantes.

### **Selección de citas**

Constantinides, M., & J.H. Fownes. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants. Relationship to nitrogen, lignin, and polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochem.* 26:49–55.

Crespo, G.; Arteaga, O.; Valdés, G y Vera, J. 2006. Obtención de abonos orgánicos y biogás a partir de los residuales de las instalaciones pecuaria. En: Fisiología, producción de biomasa y sistemas silvopastoriles en pastos tropicales. Abono orgánico y biogás. EDICA, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 362 pp

Elvio Giasson, Ray B. Bryant & Nelson L. Bills: 2003. Optimization of Phosphorus Index and Costs of Manure Management on a New York Dairy Farm. *Agronomy Journal* 95:987-993

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1998. World reference base for soil resources. World Soil Resources Rep. 84. FAO, Rome; Int. Soil Ref. and Inf. Cent., Wageningen, the Netherlands; and Int. Soc. of Soil Sci., Vienna, Austria.

Gachengo, C.N., C.A. Palm, B. Jama, & C. Othieno. 1999. Tithonia and senna green manures and inorganic fertilizers as phosphorus sources for maize in Western Kenya. *Agrofor. Syst.* 44:21–36

Giller, K.E., G. Cadisch, & L.M. Mugwira. 1998. Potential benefits from interactions between mineral and organic nutrient sources. p. 155–158. *In* S.R. Waddington et al. (ed.) Soil fertility research for maize-based farming systems in Malawi and Zimbabwe. The Soil Fertility Network for Maize-Based Cropping Systems in Malawi and Zimbabwe, CIMMYT, Harare, Zimbabwe.

Iyamuremye F., Dick R.P., & Baham J. 1996 Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Sci.* 161:426-435.

Kayuli, K & Charles S. Wortmann. 2001 Plant Materials for Soil Fertility Management in Subhumid Tropical Areas. *Agronomy Journal* 93:929-935

Koch, B. R. Khosla, W. M. Frasier, D. G. Westfall & D. Inman. 2004. Economic Feasibility of Variable-Rate Nitrogen Application Utilizing Site-Specific Management Zones. *Agron. J.* 96:1572-1580

Njunie, M. N; Wagger M. G. & P. Luna-Orea. 2004. Residue Decomposition and Nutrient Release Dynamics from Two Tropical Forage Legumes in a Kenyan Environment. *Agron. J.* 96:1073-1081

Nowak, P., Shepard, R. & F. Madison. 1997. Farmers and manure management: A critical analysis. p. 1–32. *In* J.L. Hatfield and B.A. Stewart (ed.) Waste utilization: Effective use of manure as a soil resource. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.

Nziguheba, G., Palm, C.A. Buresh, R.J. & Smithson, P.C.. 1998. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. *Plant Soil* 198:159–168.

Palm Cerril 2001. Manejo de lña material orgánica en los trópicos: trasladando la teoría a la práctica. En: Nutrient Cycling in Agroecosystems. 62:63-75

Vandendriersche, H. Bries, J. & Geypens, M. 2001. Experience with fertilizer expert system for balanced fertilizer recommendations: XIV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo, Comisión V. Fertilidad y Nutrición, 15 pag, Varadero, Cuba