SUMINISTRO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO DE MATERIALES RESIDUALES ANAERÓBICOS A PLANTAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

Mari Vargas¹ y Carlos Párraga²

¹Postgrado Manejo de los Recursos Agua-Suelo, UNELLEZ, Guanare, Portuguesa, mvarcol@hotmail.com. ²Programa Ciencias del Agro y del Mar UNELLEZ, Guanare, Portuguesa, loycarlos@hotmail.com

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la incorporación de materiales biodegradados sobre contenidos de N, P y K en tejidos foliares de plantas de maíz (*Zea mays* L). Se aplicaron los materiales: gallinaza (GI), cama de pollo (CP) y gallinaza más cama de pollo (GI + CP) en tres niveles: Cero (0), medio (7,5) y alto (15 l/m²); lodo de excreta de cerdo (LC): 0, 10 y 20 Mg.ha⁻¹ y un fertilizante químico 15-15-15 (F): 0, 450 y 900 kg.ha⁻¹. Este ensayo se efectuó en 5 ciclos sucesivos de 25 días. El análisis en el 1er ciclo mostró diferencias (P<0.05) entre tratamientos para N, P y K, mientras que en el 5to solo para K. Los mayores valores de nitrógeno, fósforo y potasio en los tejidos foliares, corresponden a GI, CP y GI + CP, con niveles de aplicación medio y alto en el 1er ciclo. Tendencia que se mantuvo hasta el final del ensayo, con excepción del nitrógeno.

Palabras clave: Suplemento de nutrimentos, abonos orgánicos, lodos residuales, biodigestión anaerobia, desechos agrícolas.

INTRODUCCIÓN

La desaparición progresiva de la materia orgánica (MO) producto de la utilización intensiva de los suelos con tecnologías altamente extractivas, justifica retomar de nuevo la fertilización orgánica como fuente de nutrimentos, se conoce además, que afecta de manera favorable las propiedades físicas y la actividad biológica (García y Lobo, 2001). La utilización de desechos agrícolas como alternativa tecnológica, requiere del conocimiento de la naturaleza y dinámica de la descomposición de los materiales así como de la oferta de nutrimentos al suelo y al cultivo (Evanylo *et al.*, 2008). La incorporación de estos desechos puede realizarse en forma directa mediante la aplicación de material fresco o tratados por diversos procesos. En el primer caso, se generan serios problemas ambientales, en el segundo, existe mayor control sanitario (Castro *et al.*, 2009), disponibilidad gradual e inmediata de nutrimentos, y efecto residual en el caso de lodos orgánicos procesados por vía aerobia o anaerobia (Datzell *et al.*, 1991).

La aplicación de abonos orgánicos generados a partir de la biodigestión anaerobia, ofrece un material en estado de mineralización bruta y por ende derivan hacia un balance neto de ofertas de nitrógeno y otros macroelementos al suelo (Taylhardat 1989). Noyola y Monroy (1994) afirman que los residuos orgánicos obtenidos después de la biodigestión anaeróbica tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia. No obstante, se requiere de mayor información del efecto de estos lodos anaeróbicos sobre la capacidad de suministro de nutrimentos a las plantas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de gallinaza, cama de pollo y lodo de excreta de cerdo biodegradados sobre contenido de N, P y K en tejidos foliares de plantas de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en condiciones controladas de invernadero y se usaron los primeros 15 cm de un suelo Alfisol Franco arenoso en condición de barbecho durante 15 años, localizado en el piedemonte andino del estado Portuguesa, cuyas características principales son: pH muy ácido(4.46); MO moderada (2,56 %), Al intercambiable moderado (2.2 Cmol₍₊₎.kg⁻¹) y contenidos de macronutrientes bajos (4 mg.kg⁻¹ de P; 45 mg.kg⁻¹ de K; 136 mg.kg⁻¹ de Ca y 89 mg.kg⁻¹ de Mg). El suelo fue tratado con materiales orgánicos de residuales avícolas, provenientes de digestores tipo Batch: gallinaza (GI), cama de pollo(CP), gallinaza + cama de pollo (GI+ CP) en tres niveles de aplicación: Cero (0), medio (7,5) y alto (15 l/m²) en forma líquida y lodo de excretas de cerdo (LC) proveniente de un biodigestor plástico de flujo continuo a razón de 0; 10 y 20 Mg.ha⁻¹ incorporado al suelo en forma sólida secado al aire, cuyas características se resumen en el Cuadro 1. Se aplicó un fertilizante comercial 15-15-15 (F): 0; 450 y 900 kg.ha⁻¹ como testigo. Los materiales orgánicos fueron incorporados al suelo e incubados por un periodo de 30 días antes de la siembra en cada unidad experimental, el fertilizante se aplicó un día antes de la siembra.

Cuadro 1. Características químicas de los materiales orgánicos.

Material	Norg	NNH ₄	P	K	Ca	Mg
GI (mg.l ⁻¹)	1301	2229	532,72	5204	18,30	5,30
CP(mg.l ⁻¹)	1678	1587	422,21	6021	20,40	9,00
GI+CP (mg.l ⁻¹)	1150	1402	587,06	5139	26,70	6,60
LC (mg.kg ⁻¹)	970	652	332,00	827	3473	875,00

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado en arreglo factorial 5X3 con cuatro repeticiones (macetas) y cuatro submuestras (plantas) por unidad experimental. El factor A estaba constituido por 5 materiales y el factor B por 3 niveles (cero, medio y alto) de aplicación. . El ensayo se condujo durante cinco ciclos consecutivos de 25 días cada uno. En cada maceta se sembraron siete semillas de maíz (Himeca 2000) distribuidas equidistantemente, al término de 10 días se efectuó el primer entresaque eliminando tres plantas, aquellas que presentaron menor desarrollo, al final de cada ciclo se procedió a extraer la parte aérea y se desecharon las raíces. Los métodos para la determinación de los macroelementos en el tejido foliar fueron: N, por micro Kjeldhal; P, por colorimetría (Vanadato-Molibdato) y K por fotometría de llama.

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de la varianza para un modelo factorial sin interacción para una distribución simple y la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%. Los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo y potasio se compararon con los valores de referencia (Cuadro 2) compilados por Arrieche (2008).

Cuadro 2. Contenido óptimo, suficiente y crítico para N, P y K en el tejido foliar de Maíz.

NUTRIENTE	ÓPTIMO	SUFICIENTE	CRÍTICO
N (%)	2.77 *	2,70-3,50 **	1,40 ***
P(%)	0,30 *	0,20-0,40 **	0,20***
K(%)	0,96 *	1,70-2,50 **	1.20 ***

Fuente: Arrieche, (2008)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primer ciclo

La mejor respuesta se obtuvo con la aplicación de los lodos avícolas (Cuadro 3), con una mayor eficiencia en la absorción de N aportada por GI, aunque en todos los tratamientos con excepción de LC, la concentración de este elemento superó el valor óptimo referido en la literatura. El bajo contenido de N cuando se aplicó LC, pudo estar influenciado por el proceso de compostaje en el biodigestor de flujo continuo y la preparación del bioabono, lo que probablemente originó pérdidas por lixiviación y volatilización, además la característica del desecho y el tipo de suelo pudieron afectar la tasa de mineralización del nitrógeno (Rogers *et al.*, 2001).

Los niveles críticos de fósforo en el tejido foliar se corresponden con lo encontrado cuando se aplicó LC y F; este último, posiblemente influenciado por el Al intercambiable y la condición de acidez del suelo. Con las otras enmiendas orgánicas, el contenido de P presentó niveles óptimos en los tejidos foliares, lo que pudo estar influenciado por los niveles de reducción de acidez y de aluminio intercambiable asociados al tipo de enmiendas orgánicas, que a su vez propician el incremento del fósforo asimilable en los suelos (López *et al.*, 2006).

En el caso del potasio, todos los materiales utilizados aportaron adecuados contenidos de nutrimentos a los tejidos de las plantas, con valores que oscilan entre óptimos y suficientes. Estos resultados coinciden con los de Castro *et al.*, (2009), quienes encontraron mayor absorción de nutrimentos en un cultivo indicador a los 30 días de aplicados los abonos orgánicos. Similarmente, Aina y Egolum (1980) señalaron que el estiércol de aves y de bovinos incorporados al suelo, produjeron una alta absorción de fósforo y concentraciones de potasio en las raíces y brotes de plantas de maíz en los primeros estadios de crecimiento.

Cuadro 3. Contenido foliar según materiales aplicados para el 1er ciclo.

MATERIALES	N%	P%	K%
GI	3.26a	0.32a	4.10a
CP	3.04ab	0.32a	4.14a
GI + CP	3.12ab	0.31a	3.90a
LC	2.50 c	0.14 b	1.97 b
F	2.92 b	0.17 b	3.54a

Valores en la misma columna con letras distintas son diferentes (P<0,05)

En relación con los niveles utilizados, el comportamiento fue similar para los macronutrimentos evaluados con aplicaciones medias y altas, pero superiores significativamente con respecto al nivel cero (Cuadro 4). Las aplicaciones altas y medias de los materiales favorecieron el contenido de fósforo en la planta, en concentraciones que varían entre óptima y suficiente señaladas en la literatura, mientras que con el nivel cero, los valores de N y P se encuentran en niveles críticos, esto pudo estar influenciado por la condición ácida del suelo y su baja fertilidad, que impide un mejor aprovechamiento del nitrógeno (Ampueda *et al.*, 2002) y del fósforo (López *et al.*, 2006) por las plantas.

Se observó que la acumulación de K en el tejido foliar, superó la concentración óptima, indistintamente de los niveles aplicados. Para este ciclo, las enmiendas orgánicas adicionadas al suelo fueron efectivas en cuanto a la disponibilidad de los macronutrimentos evaluados. Las respuestas obtenidas se corresponden con la

suplencia de nutrientes aportados al suelo por estos materiales orgánicos, señalados por Vargas y Briceño (2003).

Cuadro 4. Contenido foliar de N, P y K en maíz según niveles de aplicación para 1er ciclo.

NIVELES	N%	P%	K%
1 (cero)	2.56 b	0.16 b	2.50 b
2 (medio)	3.12a	0.29a	3.92a
3 (alto)	3.21a	0.30a	4.17a

Valores en la misma columna con letras distintas son diferentes (P<0,05)

Quinto ciclo

En el 5to ciclo, las aplicaciones con GI, CP y CI + CP causaron un efecto superior sobre el contenido foliar de K, que permite inferir el alto potencial de los materiales avícolas como abonos orgánicos; sin embargo, estos resultados difieren de lo señalado por Durán y Henríquez (2007), quienes refieren que el potasio ha sido un elemento que tradicionalmente se ha definido como poco ligado a los componentes orgánicos, a pesar de que algunos abonos orgánicos contienen cantidades apreciables de este elemento. El menor contenido foliar de K (P<0,05) cuando se aplicó F y LC pudo estar influenciado por el agotamiento de este elemento en el suelo y por el menor contenido en el material aplicado.

Con respecto a N y P la absorción fue similar entre materiales. Para el caso de N todos los valores obtenidos se aproximan al nivel crítico mientras que P mostró contenidos suficientes. Resultados estos que coinciden con los encontrados por García y Lobo (2001) en referencia a la concentración de nutrimentos en la planta, pero que se contraponen en la respuesta de los tratamientos orgánicos. Los autores indicaron una menor absorción del elemento fósforo en los tratamientos compostados en contraste con el fertilizante, atribuida a una probable interacción con el elemento Hierro.

Cuadro 5. Contenido foliar de N, P y K según materiales aplicados al 5to Ciclo

MATERIALES	N%	P%	K%
GI	1.98 a	0.27 a	3.41 a
CP	1.64 a	0.32 a	3.59 a
GI + CP	1.99 a	0.28 a	3.59 a
LC	1.56 a	0.20 a	1.31 b
F	2.10 a	0.23 a	1.02 b

Valores en la misma columna con letras distintas son diferentes (P<0,05)

El Cuadro 6 muestra que el contenido de N en el tejido foliar no mostró diferencias causadas por los niveles de aplicación y se mantuvo en concentraciones aproximadas al valor crítico de referencia, mientras que la absorción de P fue significativamente mayor a dosis altas, con valores óptimos de acumulación de este elemento. Aún cuando en el nivel medio no se encontraron diferencias significativas, la extracción de P se ubicó en cantidades suficientes para el cultivo. Similar respuesta ocurrió con el potasio, cuyo contenido fue superior al nivel óptimo cuando se aplicaron niveles medio y alto, valores que superan los obtenidos con el nivel cero.

Cuadro 6. Contenidos Foliar de N, P y K en maíz en función de los niveles de aplicación para el 5to ciclo

NIVELES	N%	P%	K%
1 (cero)	1.74 a	0.18 b	1.46 b
2 (medio)	1.80 a	0.27ab	2.99a
3 (alto)	2.02 a	0.29a	3.30a

Valores en la misma columna con letras distintas son diferentes (P<0,05 %)

Estos resultados coinciden con los reportados por Méndez y González (2000), quienes encontraron incrementos significativos de macronutrientes a nivel foliar en plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con aplicaciones de dosis altas de cachaza al suelo, en comparación con el fertilizante químico. En general, el contenido de N en el tejido foliar entre el 1ero y 5to ciclo evidencia una drástica disminución, que varió de la condición óptima a crítica, similares hallazgos han sido reportados por Castro *et al.* (2009) y Arrieche (2008). Por el contrario, P y K se mantuvieron en concentraciones similares adecuadas para el cultivo, que manifiestan un probable efecto residual de los materiales orgánicos de origen avícola hasta el final del ensayo, lo cual se corresponde en el caso de P, con las observaciones encontradas por Eghball *et al.* (2004), quienes demostraron que los efectos residuales de fósforo en el suelo, producto de la incorporación de excretas de bovino compostada y no compostada, contribuyeron con la absorción de P en plantas de maíz en un tiempo mayor de 4 años, después de aplicados. Contrariamente, Rivero y Sifontes (2005) no encontraron modificaciones en el suelo que reflejaran el potencial de un material residual anaeróbico, y plantearon dudas sobre la efectividad del tratamiento anaeróbico.

CONCLUSIONES

El efecto de los cuatro materiales orgánicos sobre la concentración de nutrimentos en el tejido foliar fue diferente, los abonos derivados de la actividad avícola mostraron una mayor capacidad de suministro (GI>CP> GI + CP), inicialmente superior incluso a la del fertilizante químico, con excepción de K, tendencia que se mantuvo hasta final del ensayo.

Es probable que los sistemas de tratamiento anaerobio de régimen estacionario (Batch) y de flujo continuo, así como el manejo previo dado al lodo residual de excretas de cerdo antes de su incorporación al suelo, haya influenciado la calidad del abono.

Al final del período de evaluación, los contenidos de nutrimentos con excepción del nitrógeno, se mantuvieron en cantidades suficientes para suplir las exigencias del cultivo, a niveles medios y altos de aplicación, evidencia clara de un efecto residual. Esto es particularmente importante con el elemento fósforo debido a su fácil inmovilización en suelos ácidos. Sin embargo, la aplicación de los lodos en forma líquida, su manejo y las dosis a utilizar limitan su uso a cultivos en pequeñas extensiones o en estructuras protegidas. Por ello, es necesario evaluar en condiciones de campo la aplicación de estos materiales con el propósito de conocer mejor la interacción suelo-planta-abono orgánico y establecer las dosis adecuadas para su aplicación. Igualmente, estudiar el comportamiento de la fertilización integrada.

BIBLIOGRAFÍA

- Aina, P. O.; Egolum, E.** 1980. The effect of cattle feedlot manure and inorganic fertilizer on the improvement of subsoil productivity of Iwo soil. *Soil Science* 123, 212–217.

- Ampueda, J.; Rivero, C.; Torres, A.; Cabrera, E.** 2002. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y fertilizante químico sobre la dinámica del nitrógeno”. Rev. Agron. Trop. Vol 32:14- 26.
- Arrieché, I.** 2008. Efecto de la fertilización orgánica y química en suelos degradados cultivados con maíz (*Zea mays* L.) en el estado Yaracuy, Venezuela. Tesis de Doctorado. España. Universidad de Valladolid. Departamento de Ciencias Agroforestales. 191p.
- Castro, A.; Henríquez, C.; Bertsch, F.** 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. Agronomía Costarricense 33(1): 31-43.
- Datzell, H; Biddlestone, A; Gray, K.; Thurairajan, K.** 1991. Manejo del suelo; producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de Suelos. Boletín de suelos. FAO N° 56. Roma, Italia. 178 p.
- Durán, L.; Henríquez, C.** 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense 31(1):41-51.
- Eghball, B.; Ginting, D.; Gillely, J.** 2004. Residual Effects of Manure and Compost Applications on Corn Production and Soil Properties. Agron. J. 96:442 – 447.
- Evanylo, G.; Sheron, C.; Spargo, J.; Starner, D.; Brosius, M.; Haering, K.** 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer-manure, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. Agriculture, Ecosystems and Environment 127:50-58.
- García, L.M.; Lobo, D.** 2001. Efectos de la incorporación de materiales compostados sobre las propiedades de un Inceptisol degradado, bajo cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Venesuelos 9 (1 y 2):16-24.
- López, M.; Alfonzo, N.; Florentino, A.; Pérez, M.** 2006. Dinámica del Fósforo y Reducción del Aluminio Intercambiable en un Suelo Ultisol Sometido a Manejo Conservacionista en Venezuela; Interciencia, 31: 293-299.
- Méndez, N.; González, R.** 2000. Utilización de la cachaza en suelos bajo el cultivo de la caña de azúcar. In Memorias 11° Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación del Suelo. Buenos Aires. Argentina. p. 194.
- Noyola, A.; Monroy, O.** 1994. Experiencias y expectativas del tratamiento de residuales porcinos en México. In: III Taller y Seminario Latinoamericano “Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”. Montevideo. Uruguay. pp 331-340.
- Rivero, C.; Sifontes, J.** 2005. El efecto de un material residual anaeróbico sobre el Mg, K y Ca disponibles para las plantas en el suelo. Venesuelos 13: 46-51.
- Rogers, B.F.; Krogman, U.; Boyles, L.S.** 2001. Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic wastes. Soil Science. 166 (5): 353-363.
- Taylhardat, L.** 1989. El biogás fundamentos e infraestructura rural. Trabajo de ascenso. Maracay. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 80p.
- Vargas, M.; Briceño, K.** 2003. Efecto de la incorporación de desechos agrícolas biodegradados sobre algunas propiedades químicas de un Alfisol del piedemonte andino. Rev. Unell. Cien. Tecn. 21:124-137.