

ARTÍCULO CIENTÍFICO

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE UNA ENMIENDA ORGÁNICA EN EL RENDIMIENTO DEL ALGODÓN (*Gossypium hirsutum* L.) var. reba P-279 Y EN ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO DESGASTADO DEL DEPARTAMENTO CENTRAL DEL PARAGUAY¹

Carlos A. Leguizamón Rojas² y Silvio Vega³

ABSTRACT. A field experiment was carried out in the experiment station of the Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, from august 1994 up to may 1995, with the objective of evaluating the effects of four levels of a mixed organic amendment and a basal fertilizer with no addition of lime in some chemical properties of a highly degraded soil of the Central departament of Paraguay and in the fiber yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) var. reba P-279. The organic amendment consisted of a mixture of cow manure (milking cow) and chicken manure (egg-layer) in a 1:1 dry weighth relation, and increasing levels from 0, 7, 14 up to 21 Tm/ha; inorganic fertilizer was applied on a level of 40-40-50 kg/ha of N, P₂O₅ and K₂O, respectively. To verify the effect of the mixed manure on the soil, post harvesting soil samples were collected and analyzed in the laboratory in order to determine the behaviour of pH, exchangeable acidity (Al³⁺ + H⁺), organic matter, extractable phosphorus, exchangeable bases (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺). In the same way, the effect of the mixed manure was also evaluated in the fiber yield of cotton as in the height, number of capsules, dry wigth. Results from the experiment revealed that application of increasing levels of organic amendments decreased markedly exchangeable acidity, and increased pH, exchangeable bases concentration, and soil organic matter. Consequently, it was verified a significant increase in the fiber yield of cotton. Mineral fertilizer with no addition of lime increased soil potassium levels, but did not increase significantly the fiber yield of cotton.

RESUMEN. El presente experimento fue realizado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, en el período comprendido entre agosto de 1994 a mayo de 1995; su objetivo fue evaluar el efecto de cuatro niveles de una mezcla de enmiendas orgánicas y un nivel básico de fertilización mineral sin encalado en algunas propiedades químicas de un suelo desgastado del Departamento Central del Paraguay y en el rendimiento del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) var. reba P-279. La enmienda orgánica utilizada consistió en una mezcla de estiércol vacuno (lechera) y gallinaza (ponedora) en una relación de peso 1:1, en dosis de 0, 7, 14 y 21 Tm/ha sobre base seca; la fertilización mineral fue de 40-40-50 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente. Para verificar el efecto de la mezcla del estiércol sobre el suelo, las muestras de suelo obtenidas después de la cosecha del algodón, fueron analizadas en el laboratorio para conocer el comportamiento del pH, acidez intercambiable (Al³⁺ + H⁺), materia orgánica, fósforo extraíble, bases intercambiables (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺). Asimismo, fueron evaluados el efecto de la mezcla de las enmiendas en el rendimiento en fibra del cultivo, además de otros datos como la altura, número de cápsulas, masa seca. Los resultados del experimento revelaron que los aumentos sucesivos de niveles de la enmienda orgánica utilizada disminuyó marcadamente la concentración de la acidez intercambiable y aumentó el pH, la concentración de las bases intercambiables, el fósforo extraíble y la materia orgánica del suelo, verificándose en consecuencia un aumento significativo en el rendimiento de la fibra del algodón. La fertilización mineral sin encalado elevó el contenido de potasio del suelo, pero no aumentó significativamente el rendimiento del algodón.

Key Words: Organic amendment, chemical fertilizer, pH, exchangeable acidity, extractable phosphorus, exchangeable cations, organic matter, yield.

Palabras claves: Enmienda orgánica, fertilización química, pH, acidez intercambiable, fósforo extraíble, bases intercambiables, materia orgánica, rendimiento.

¹ Contribución del Departamento de Suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

^{2,3} Técnico y Profesor del Departamento de Suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, respectivamente. Casilla de Correo 1618, Campus Universitario, Asunción - Paraguay.

INTRODUCCIÓN

En el Paraguay existen 66 223 explotaciones agropecuarias menores a 20 has (DCEA, 1993), que difícilmente acceden a los paquetes tecnológicos de la agricultura moderna, los cuales, normalmente demandan alto costo y endeudamiento del productor.

Una de las problemáticas que envuelve a este productor de escasos recursos es la pérdida creciente de la fertilidad y la acidificación progresiva de sus suelos (DERPSCH y FLORENTIN, 1992); estos ocasionan rendimientos cada vez menores en sus cultivos y, consecuentemente, en sus ingresos.

Esta situación puede ser atenuada o corregida con el uso eficiente de todo material orgánico que pueda ser producido en la finca; estiércol de animales, rastrojos de cultivos, abonos verdes; de manera que logren rendimientos sostenibles en los cultivos.

Estudios recientes (HUE y AMIEN, 1989; VEGA, 1993) han demostrado que la utilización de materiales orgánicos derivados de vegetales, animales y sub-productos industriales disminuyen notablemente el efecto negativo de la acidez del suelo y mejoran la disponibilidad de los macro y micro nutrientes y la nutrición de las plantas.

Uno de los aspectos más positivos de la utilización de residuos orgánicos en suelos ácidos es la destoxificación del aluminio derivado probablemente del aumento del pH de estos suelos (HUE, 1992). VEGA (1993) trabajando con suelos ácidos de Hawaii (USA) tratados con abono verde y desperdicios municipales también encontró que la aplicación de dichas enmiendas no solo aumentó el pH del suelo y destoxificó el aluminio, sino también aumentó significativamente los niveles de C, P, K, Ca, Mg y algunos micronutrientes como Zn, Fe y Mn en la solución del suelo.

Sin embargo, estudios que evalúen el efecto de estos materiales orgánicos en los suelos altamente intemperizados del Paraguay y utilizando el algodón como cultivo indicador son muy escasos. Tomando en consideración estos aspectos, este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de cuatro niveles de una mezcla de estiércol vacuno y gallinaza y de una fertilización básica sin la adición de cal agrícola en el rendimiento en fibra del cultivo del algodón y en algunas propiedades químicas de un suelo desgastado del Departamento Central del Paraguay.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

Material edáfico: El suelo utilizado en este experimento es clasificado en el sistema del soil taxonomy como Rhodic

Paleudult (LOPEZ et al., 1995). Algunas características químicas y granulométricas del suelo se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Algunas propiedades químicas y granulométricas del suelo superficial (0 - 20 cm) utilizado en el experimento.

pH	4,68
Materia orgánica (%)	0,58
Fósforo extraíble con método Meihlich 1 (mg/kg)	4,97
Acidez intercambiable ($Al^{3+} + H^{+}$) (cmol/kg)	0,78
Cationes intercambiables extraídos con acetato de amonio pH 7,0 (cmol/kg)	
Calcio intercambiable (Ca^{+2})	0,71
Magnesio intercambiable (Mg^{+2})	0,29
Potasio intercambiable (K^{+})	0,08
CIC efectivo (cmol/kg)	1,86
CIC total con acetato de amonio pH 7,0 (cmol/kg)	4,35
Análisis granulométrico por el método de Bouyoucos	
Arena (%)	70,5
Limo (%)	12,0
Arcilla (%)	17,5
Clase textural	Franco arenosa

Material genético: Se utilizó semilla certificada de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) var. reba P-279. Este material fue promovido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Paraguay desde la campaña algodonera de 1978/1979. Se obtuvo a partir de la progenie de las variedades reba B50 x delta pine smooth leaf, seleccionado en Paraguay (ALVAREZ et al., 1989).

Enmiendas Orgánicas: Se utilizaron cama de gallina (ponedoras) y estiércol vacuno (lecheras) del establecimiento Granja Verde, ubicado en San Lorenzo, Departamento Central del Paraguay. Estos se encontraban curtidos por descomposición aeróbica. Algunas determinaciones químicas de estas enmiendas se encuentran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición total de algunos nutrientes y pH de las enmiendas orgánicas utilizadas en el experimento.

	pH (1:2,5)	%				
		P	Ca	Mg	K	Na
Estiércol Vacuno	8,50	0,40	2,29	0,68	1,33	0,81
Gallinaza	7,90	0,52	5,75	0,86	1,92	1,65

Fertilizantes Químicos: Se utilizaron fertilizantes granulados de las siguientes formulaciones 18-46-0 (Fosfato diamónico), 0-0-60 (Muriato de potasio) y 45-0-0 (Urea).

Plaguicidas: Para el tratamiento de semillas fueron utilizados Tiofanato metílico + thiram, toclofosmetil y carbosulfan. Para control de hormigas cortadoras se utilizó cebo Mirex.

Maquinarias y herramientas: Se utilizaron tractor, arado y rastra de disco, motocultor, asadas, rastrillos, palas, balanzas, etc.

Equipos e Instrumentos de laboratorio: Para las determinaciones laboratoriales se utilizó el equipamiento del Departamento de Suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. Se utilizaron el espectrofotómetro de absorción atómica, espectrofotómetro colorimétrico, potenciómetro, agitadores, campana, vidriería en general, etc.

METODO

Organización del experimento: En el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, situado en el distrito San Lorenzo, Departamento Central (25° 21' latitud sur y 57° 27' longitud oeste) a una altura de 125 m sobre el nivel del mar, se estableció un ensayo experimental en bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, utilizando el algodón (*Gossypium hirsutum* L.) variedad reba P-279, como cultivo indicador. Los tratamientos establecidos fueron:

- T1 = testigo (sin fertilización)
- T2 = 40 - 40 - 50 (N - P₂O₅ - K₂O) kg/ha.
- T3 = 7 Tm/ha enmienda orgánica (3,5 Tm/ha cama de gallina + 3,5 Tm/ha estiércol vacuno).
- T4 = 14 Tm/ha enmienda orgánica (7 Tm/ha cama de gallina + 7 Tm/ha estiércol vacuno).
- T5 = 21 Tm/ha enmienda orgánica (10,5 Tm/ha de cama de gallina + 10,5 Tm/ha estiércol vacuno).

La dimensión total del ensayo fue de 1400 metros cuadrados, de los cuales cada parcela con el tratamiento establecido tuvo un área de 60 metros cuadrados (6 m x 10 m) y los bloques separados por calles de 1 metro.

Para la preparación del suelo, se realizó una arada y dos rastreadas con implementos de disco, utilizando tracción mecánica. Luego, se aplicó el equivalente a 7, 14 y 21 Tm/ha de enmienda orgánica (cama de gallina ponedora y estiércol vacuno aplicados en la misma proporción sobre base seca). Por ejemplo, la aplicación de 7 Tm/ha de la enmienda orgánica es el resultado de aplicar 3,5 Tm/ha de cama de ave y 3,5 Tm/ha de estiércol vacuno. La aplicación fue realizada al voleo, sin mezcla previa de las enmiendas orgánicas e incorporados superficialmente 5 a 6 cm con rastrillo, en forma manual. La aplicación de los distintos niveles de la enmienda orgánica fue realizada los días 3 y 4 de noviembre de 1994.

Después de dejar 11 días para que la enmienda orgánica

reaccione con el suelo, se procedió a la siembra del algodón (15 de noviembre de 1994) abriendo surcos de 5 cm de profundidad con un surcador manual y utilizando una distancia de 1 m entre hileras y 0,35 m entre hoyos. Por cada hoyo se depositó 7 a 8 semillas. Paralelo a la resiembra, que se efectuó el 25 de noviembre de 1994 en los hoyos donde no se produjo la germinación, se aplicó 20-40-50 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente en bandas laterales a 10 cm de las plantas con los fertilizantes minerales ya mencionados.

El raleo se realizó los días 4 y 5 de enero de 1995 en forma manual, dejando en general dos o tres plantas por hoyo y se aplicó la fertilización mineral de cobertura a razón de 20-0-0 Kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, en bandas laterales a 10 cm de las plantas. Al mismo tiempo, para la medición de la masa seca fueron cortadas en la base del tallo 12 plantas por tratamiento y repetición, utilizando el azar sistemático. Estas plantas fueron llevadas a estufa a 60°C hasta peso constante. Asimismo, para la medición de la altura (51 días después de la siembra) se tomaron 37 mediciones por cada parcela utilizando también el azar sistemático. Los días 6 y 7 de enero de 1995 se efectuó el aporque con asada. En todo el ciclo del cultivo se realizó cuatro carpidas manuales y es de destacar que no fue aplicado ningún producto fitosanitario a excepción del cebo mirex para control de hormigas cortadoras. El conteo de cápsulas se realizó el 27 de marzo de 1995 utilizando cinco plantas por tratamiento y repetición.

La cosecha manual de fibra de algodón se realizó en tres ocasiones; los días 17-18 y 26-27 de abril y 2-3 de mayo de 1995, cosechando íntegramente la producción de cada parcela. Las fibras cosechadas fueron expuestas al sol sobre carpas, para su secado y posterior pesaje para la evaluación del rendimiento. Las mediciones realizadas en el cultivo fueron altura, masa seca, número de cápsulas y rendimiento en fibra.

Posterior a la cosecha se extrajeron muestras de suelo a una profundidad de 20 cm con barreno de cada parcela para evaluar el efecto en poscosecha de los diferentes niveles de la enmienda orgánica en algunas propiedades químicas del suelo en estudio. Las muestras colectadas fueron secadas al aire, desterronadas mecánicamente, tamizadas a través de un tamiz de 2 mm (0,2 cm) diámetro y debidamente homogeneizadas para su posterior análisis en el departamento de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

Las principales determinaciones fueron pH en agua utilizando el método potenciométrico con preparación de una suspensión de suelo en proporción 1:1 de masa de suelo - volumen de agua (PEECH, 1965), el Al⁺³ + H⁺¹ (acidez intercambiable) fue extraída con una solución 1 M de KCl y determinada en una alícuota por titulación con Na OH (Mc LEAN, 1965). Los cationes intercambiables

(Ca⁺², Mg⁺², K⁺¹) fueron extraídas con una solución 1 M de acetato de amonio pH 7,0 y determinado con el espectrofotómetro de absorción atómica (CHAPMAN, 1965). El fósforo extraíble (P) fue extraído con la solución Mehlich 1 y determinada colorimétricamente por reducción del complejo fosfomolibdico en presencia de ácido ascórbico (OLSEN y DEAN, 1965). El nivel de carbono orgánico para la determinación de la materia orgánica se especificó utilizando el K₂Cr₂O₇ como agente oxidante y H₂SO₄ como medio ácido y titulando una alícuota de la muestra con FeSO₄ · 7 H₂O (ALLISON, 1965). Para la determinación de la granulometría y la clase textural del suelo se utilizó el método de Bouyoucos y el triángulo del USDA (United State Department of Agriculture), respectivamente. La determinación de los nutrientes totales en las enmiendas orgánicas se realizó pesando 0,2 g de las enmiendas que luego fueron tratadas con 10 ml de la mezcla nitroperclórica, digeridos a 190° C por 3 horas. La solución digerida fue diluida en HCl 0,1 M a 100 ml.

Los datos numéricos provenientes de la investigación fueron evaluados estadísticamente utilizando el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación entre los promedios se realizó utilizando el test del least significant difference (LSD) al 95 % de probabilidad (GOMEZ y GOMEZ, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la aplicación de la fertilización básica y de diferentes niveles de fertilización orgánica en algunas propiedades químicas del suelo. Los resultados de la aplicación de la fertilización básica y de los diferentes niveles de la mezcla de cama de gallina y estiércol vacuno en los niveles de pH, materia orgánica (MO), acidez intercambiable (Al⁺³ + H⁺¹), bases intercambiables (Ca⁺², Mg⁺², K⁺¹) y fósforo (P) extraíble se observan en el cuadro 3.

La aplicación de la fertilización básica y de dosis sucesivas de la enmienda orgánica aumentó considerablemente el pH del suelo y disminuyó significativamente la concentración del Al⁺³ + H⁺¹. Por ejemplo, el pH del suelo aumentó de 4,50 en el testigo a 4,57 en el tratamiento con fertilización básica y a 4,89 y 4,93 con la aplicación de 14 y 21 Tm/ha de la enmienda orgánica. La concentración de Al⁺³ + H⁺¹ disminuyó de 0,80 cmol/kg en el testigo a 0,68 cmol/kg en la parcela con fertilización mineral y a 0,33 y 0,38 cmol/kg con la adición de los dos últimos niveles de la enmienda orgánica. Una relación lineal (r² = 0,96) se encontró cuando se comparó el pH del suelo con el nivel de la acidez intercambiable, indicando que la naturaleza del nivel de Al en el suelo depende directamente del pH. El aumento del pH con la aplicación de fertilizante mineral a suelos altamente intemperizados de Hawaii (USA) también reportó VEGA en 1993. UEHARA y GILLMAN (1981) propone que este aumento de pH es posiblemente debido a que el fosfato, agregado con la fertilización mineral, libera los iones OHs de la superficie de los sesquióxidos. Asimismo, el aumento del pH de suelos del trópico con la aplicación de diferentes niveles de enmiendas orgánicas ya fueron reportados por HUE y AMIEN (1989) con abonos verdes, KIEHL (1985) con aplicación de estiércol humano, RIOS (1986) con estiércol de cerdo, gallina y vacuno, VEGA (1993) con aplicación de residuos municipales y un abono verde de verano. HUE y sus colegas de la Universidad de Hawaii (USA) sugieren que el aumento de pH con la aplicación de enmiendas orgánicas es probablemente debido a la reducción de sesquióxidos de Fe y Mn y/o la reacción de complejamiento entre aniones orgánicos y OHs terminales de los sesquióxidos. Sin embargo, más investigaciones son necesarias para dilucidar dichas hipótesis (HUE, 1992).

La disminución del Al⁺³ + H⁺¹ del suelo con la aplicación de la fertilización básica y de la enmienda orgánica podría resultar de la precipitación del Al con el aumento del pH y/o por complejamiento del mismo por compuestos

Cuadro 3. Efectos de la aplicación de la fertilización básica y de diferentes niveles de enmiendas orgánicas en algunas propiedades químicas del suelo*.

Tratamiento	pH	Al ⁺³ +H ⁺¹	cmol/kg			MO %	P mg/kg
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹		
Testigo	4,50 b	0,80 c	0,51 b	0,23 b	0,05 c	0,38 b	2,21 c
FB**	4,57 b	0,68 bc	0,53 b	0,23 b	0,09 b	0,63 a	3,98 bc
7 Tm/ha de EO***	4,77 a	0,50 ab	0,68 b	0,30 b	0,11 b	0,55 a	6,58 b
14 Tm/ha de EO	4,89 a	0,33 a	0,95 a	0,42 a	0,15 a	0,61 a	9,95 a
21 Tm/ha de EO	4,93 a	0,38 a	0,91 a	0,43 a	0,18 a	0,60 a	10,82 a

- * Las medias seguidas de letras iguales no difieren significativamente entre sí a 1 95% de probabilidad de acuerdo al test LSD.
 ** Fertilización básica
 *** Enmienda orgánica

orgánicos (HUE, 1992). Algunos autores como OLIVEIRA y VALENGA (1994), PRIMAVESI (1985), VEGA (1993) ya encontraron disminución progresiva del Al con adiciones de enmiendas orgánicas. Estos resultados alientan a seguir investigando la destoxificación del Al con materiales orgánicos utilizados en el Paraguay, llevando en cuenta que gran parte de la superficie de la región Oriental del país posee problemas de acidez.

El comportamiento de los cationes intercambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}) por efecto de los diferentes tratamientos es también por demás interesante. La aplicación de la fertilización básica (N,P,K) aumentó significativamente la concentración de potasio, pero no el del Ca y Mg con respecto al testigo.

Esta situación se esperaba debido a que el suelo no fue encalado previamente y el fertilizante aplicado estaba desprovisto de los elementos Ca y Mg. El aumento del potasio probablemente sería más significativo si el suelo tuviera un pH mayor. Si se analiza el efecto de la aplicación de los diferentes niveles de la enmienda orgánica en la concentración de Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+1} con respecto al testigo, en la mayoría de los casos hubo aumentos significativos. Por ejemplo, la aplicación de 14 Tm/ha de la enmienda orgánica elevó significativamente la concentración de calcio, magnesio y potasio de 0,51, 0,23 y 0,05 cmol/kg en el testigo a 0,95, 0,42 y 0,15 cmol/kg con el nivel de enmienda mencionado previamente.

Varios autores encontraron resultados similares a los hallados en este experimento. KIEHL (1985) aplicando cama de pollo a suelos brasileros y cultivando maíz como planta indicadora, encontró aumentos significativos en el nivel de potasio, calcio y magnesio en el suelo y en la planta, con respecto a suelos no tratados con esta enmienda (testigo). FATECHA et al., (1993) trabajando con suelos de los Departamentos Central y Presidente Hayes del Paraguay tratados con el subproducto industrial de la caña de azúcar llamado torta de filtro y utilizando la misma caña como planta indicadora también reportó aumentos considerables de los tres nutrientes con respecto al testigo. VEGA (1993) aplicando un abono verde de verano (*Vigna unguiculata*) y residuo municipal a suelos desgastados de Hawaii (USA) no sólo reveló aumentos significativos en el nivel de Ca, Mg y K del suelo, sino también de los micronutrientes en la solución del mismo con respecto a los suelos no tratados con estas enmiendas. El aumento de estos tres nutrientes con el agregado sucesivo de la enmienda orgánica deriva, en gran proporción, de la mineralización de la gallinaza y el estiércol vacuno (original) utilizado en este experimento.

El trabajo de OLIVEIRA y VALENGA (1994) utilizando estiércol de cerdo también demostró aumentos significativos en la concentración de potasio en el suelo, pero los aumentos fueron mínimos en la concentración de calcio y magnesio del suelo con respecto al testigo.

PAVAN (1993), encontró aumentos en el nivel de calcio y magnesio, pero no así en el nivel de potasio del suelo, utilizando estiércol vacuno como enmienda orgánica.

La aplicación de la fertilización básica no produjo un aumento significativo en la concentración de fósforo con respecto al testigo. Esto es probablemente debido a que la mayor parte del fósforo aplicado en la siembra fue absorbido por la planta y, en consecuencia, su concentración en el suelo extraído en poscosecha ya fue muy inferior. Sin embargo, la aplicación de los tres niveles de la enmienda orgánica aumentó significativamente la concentración de fósforo comparado con el testigo, incluso en poscosecha. Por ejemplo, el nivel de fósforo aumentó de 2,21 mg/kg en el testigo a 6,58, 9,95 y 10,82 mg/kg con la aplicación de dosis sucesivas de 7, 14 y 21 Tm/ha de la enmienda.

Aumentos significativos en la concentración de fósforo, cuando el suelo fue tratado con cama de pollo, también fue reportado por KIEHL en 1985. Asimismo FATECHA (1993) comprobó que el nivel de fósforo en poscosecha de caña de azúcar aumentó considerablemente cuando el suelo fue tratado con torta de filtro. VEGA (1993) en un experimento de evaluación del efecto de tres niveles de residuo municipal, también encontró considerable aumento de fósforo extraíble con estos tratamientos con respecto al testigo. Los beneficios de la liberación de fósforo, derivado de la interacción entre el suelo y la enmienda orgánica es probablemente debido a una contribución directa de la mineralización del fósforo orgánico presente en la enmienda, por la competencia entre los iones fosfatos y aniones orgánicos por los espacios de absorción de la arcilla y/o por el complejamiento de aniones orgánicos con Al^{+3} , Fe^{+3} o Ca^{+2} , liberando en consecuencia fosfatos en la solución del suelo (HUE, 1992).

En cuanto al contenido de materia orgánica, la aplicación de la fertilización básica y orgánica produjo aumentos significativos de la misma en relación al testigo. El aumento de materia orgánica con la aplicación de la fertilización básica es cuestionable porque este tratamiento no recibió adición extra de material carbonáceo. Los aumentos significativos del nivel de materia orgánica proveniente de la aplicación de dosis sucesivas de la enmienda orgánica era de esperar, aunque todavía permanecen en niveles bajos. Por ejemplo, la aplicación de 14 Tm/ha de la enmienda aumentó el nivel de la materia orgánica de 0,38 % en el testigo a 0,61 % con dicho nivel. Varios autores (RIOS, 1986; FATECHA et al., 1993; VEGA, 1993) reportaron también aumentos en el nivel de materia orgánica cuando los suelos fueron tratados con diferentes enmiendas orgánicas. Probablemente un mejor resultado se encontraría si se analiza la concentración de carbono soluble en vez de carbono orgánico total como manifiesta HUE (1992). Es probable también que el bajo incremento en el nivel de materia orgánica se deba a la baja relación C/N de la

enmienda utilizada, lo cual proporciona condiciones apropiadas para la rápida mineralización microbiana del carbono que en postcosecha ya se encontraba en niveles bastante bajos.

Efectos de la aplicación de la fertilización básica y diferentes niveles de la enmienda orgánica en el desarrollo y rendimiento del algodón. Los efectos de la aplicación de la fertilización mineral y orgánica en la altura, masa seca, número de cápsulas y rendimiento del algodón se encuentran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Efectos de la aplicación de la fertilización básica y orgánica en el desarrollo y rendimiento del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) var. reba P-279*.

Tratamiento	Masa seca (g) a los 51 DDS**	Altura (cm) a los 53 DDS	Nº de cápsulas	Rendimiento Tm/ha
Testigo	20,1 b	29,1 c	3,8 d	0,30 c
FB	26,9 b	32,3 c	7,4 c	0,56 c
7 Tm/ha de EO***	59,9 a	43,2 b	12,2 b	1,49 b
14 Tm/ha de EO	76,3 a	50,0 a	18,6 a	2,16 a
31 Tm/ha de EO	88,9 a	53,6 a	31,9 a	3,38 a

* Las medias seguidas de letras iguales no difieren significativamente entre sí a $P \leq 0,05$ de acuerdo al test LSD.

** Días después de la siembra

*** Enmienda orgánica

A los 51 y 53 días después de la siembra del algodón se observa que no hubo un aumento significativo en la altura y masa seca del algodón con la aplicación de la fertilización básica. Sin embargo, la aplicación de dosis sucesivas de la enmienda orgánica produjo diferencias significativas en la masa seca y altura del algodón con respecto al testigo. Por ejemplo, la adición de 21 Tm/ha de la enmienda aumentó de 20,1 g de masa seca y 29,1 cm de altura en el testigo a 88,9 g y 53,6 cm de masa seca y altura con el nivel mencionado.

Aumentos considerables de masa seca en maíz y sorgo fueron también encontrados por KIEHL (1985) utilizando la gallinaza como material orgánico. El mismo autor cita que la aplicación de estiércol vacuno, cama de pollo y cama de ponedoras elevó la masa seca de avena (*Avena sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.) a los mismos niveles que la fertilización básica. Otros autores (HUE y AMIEN 1989; VEGA, 1993) citan aumentos considerables en la altura de plantas, tratando el suelo con abono verde y residuo municipal. Al comparar en una regresión los datos de altura y masa seca, señalando se encontró una alta correlación ($r^2 = 0,99$) señalando que los parámetros citados son indicadores eficientes del crecimiento vegetativo de la planta de algodón hasta los 51 DDS.

En relación al número de cápsulas, los resultados, estadísticamente, son bastante similares a los de la masa seca y la altura, aunque en este caso la aplicación de la fertilización básica aumentó el número de cápsulas significativamente con relación al testigo. Esta situación fue, probablemente, debido a que el fertilizante mineral ya tuvo más tiempo para reaccionar en el suelo y ser absorbido por la planta. La aplicación de 7, 14 y 21 Tm/ha de la enmienda orgánica aumentó significativamente el número de cápsulas a 12,2, 18,65 y 21,90, respectivamente, comparado a 3,75 cápsulas producidas en el testigo. El aumento del número de cápsulas con las aplicaciones de dosis sucesivas de enmienda orgánica está en relación directa con el aumento de la concentración del nutriente fósforo que tiene decidida influencia en la floración y fructificación de las plantas (MARSCHNER, 1989).

Considerando el rendimiento en fibras del algodón, el mismo aumentó de 0,30 Tm/ha en el testigo a 0,56 Tm/ha con la aplicación de la fertilización básica. Este aumento no fue estadísticamente significativo y sugiere, por un lado, que tanto el nitrógeno, fósforo y potasio aplicados directamente a un suelo ácido sin previo encalado no tiene la efectividad esperada. Por otro lado, los autores estiman que los fertilizantes minerales mixtos vendidos en el mercado paraguayo podrían ser adulterados y en consecuencia no poseen la concentración correspondiente. Resultados de baja respuesta en aplicación de fertilizantes mixtos vendidos en el Paraguay ya fueron encontrados por VEGA y colegas en suelos ácidos de los Departamentos de Amambay y Central utilizando lechuga (*Lactuca sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.) como cultivos indicadores (datos no publicados).

La aplicación de los tres niveles de la enmienda orgánica en contraste con el de la fertilización básica produjo rendimientos altamente superiores y de alta significancia estadística con respecto al testigo. Por ejemplo de 0,30 Tm/ha en el testigo, el rendimiento de la fibra aumentó a 1,49, 2,1 y 2,38 Tm/ha con aplicaciones sucesivas de 7, 14 y 21 Tm/ha de la enmienda orgánica. Esto indica 5,7, 2 y 8 veces más de aumento en el rendimiento de la fibra del algodón con las aplicaciones de los tres niveles citados con respecto al testigo. Relacionando el rendimiento relativo del algodón con la aplicación de 0, 7, 14, y 21 Tm/ha de la mezcla de gallinaza y estiércol vacuno se encontró que el 90 % del rendimiento relativo se consigue aplicando aproximadamente 13,8 Tm/ha de esta enmienda en estos suelos altamente desgastados del Departamento Central del Paraguay (Figura 1). La correlación existente entre estos dos parámetros es bastante alta ($r^2 = 0,86$) aunque nos es muy lineal. Sin embargo si se compara el rendimiento relativo de la fibra del algodón solamente con 0, 7 y 14 Tm/ha de la enmienda, la relación es mucho más lineal y la correlación aumenta considerablemente ($r^2 = 0,95$).

Este aumento en el rendimiento de la fibra implica una alta efectividad de la materia orgánica en la destoxificación de elementos tóxicos y aumento de la fertilidad de los suelos ácidos y una gran influencia en la nutrición de la planta en estas condiciones. Asimismo, más estudios son necesarios para evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas en los suelos del Paraguay y su influencia en el rendimiento de muchos otros cultivos de importancia económica y ecológica en este país.

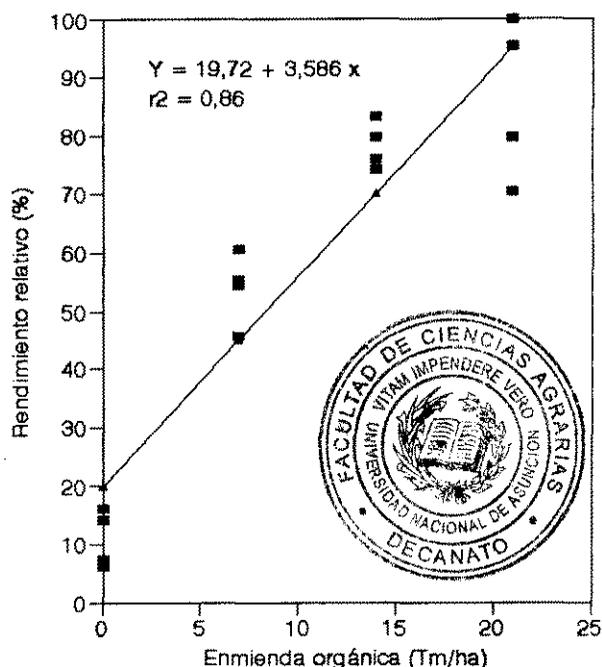


Figura 1. Efecto de la aplicación de la enmienda orgánica en el rendimiento relativo del algodón

CONCLUSIONES

- Los resultados de la aplicación de la fertilización básica y de diferentes niveles de la enmienda orgánica sobre un suelo desgastado del Departamento Central del Paraguay y en el rendimiento del algodón reba P-279, revelaron las siguientes conclusiones:

- La aplicación de la fertilización básica sin adición de la cal agrícola disminuyó levemente la acidez del suelo, no afectó significativamente los niveles de Ca, Mg y P y aumentó levemente el nivel de potasio. En consecuencia no hubo un aumento significativo de la fibra del algodón con respecto al testigo.

- La aplicación de dosis sucesivas (0, 7, 14 y 21 Tm/ha) de la enmienda orgánica disminuyó considerablemente el efecto tóxico de la acidez del suelo y aumentó en la mayoría de los casos el nivel de Ca, K, P y materia orgánica del suelo, aumentando en consecuencia, significativamente, el rendimiento de la fibra del algodón.

- La aplicación de 14 Tm/ha de la enmienda orgánica aumentó el rendimiento del algodón aproximadamente 7,5 veces más que el testigo y se obtuvo con este nivel el 90% del rendimiento relativo del mismo, lo cual es el nivel recomendado para la producción de algodón en estas condiciones edáficas y climáticas.

LITERATURA CITADA

ÁLVAREZ, L. A., R. BENTÍTEZ, B. MICHEL, P. PRUDENT, V. MANGANO, C. CENTURIÓN, C. SAMANIEGO y G. GÓMEZ. 1989. Cultivo del algodón. Paraguay. Dirección de Investigación y Extensión Agropecuaria y Forestal. Proyecto de Investigación y Experimentación Algodonera. (Manual técnico n.º 7). 61 p.

ALLISON, L. E. 1965. Organic Carbon. In Methods of soil analysis; Part 2; Chemical and microbiological properties. 2 ed. Ed. by C.A. Black et al., Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 1367-1378.

CHAPMAN, H. D. 1965. Cation - exchange capacity. In methods of soil analysis; Part 2; Chemical and microbiological properties. 2 ed. Ed. by C.A. Black et al. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 891-900.

DIRECCIÓN DE CENSOS Y ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS (Par). 1993. Censo Agropecuario Nacional 1991. Asunción, Ministerio de Agricultura y Ganadería. V.2.

DEL CAMPO A LA CONFECCIÓN; ALGODÓN GLOBAL PARA EL AÑO 2000. (1994, Asunción) 1994. Del campo a la confección; algodón global para el año 2000. Ed. por Gilda Balsevich Prieto. Asunción, Paraguay, MAG-MIC. 147 p

DERPSCH, R. y M. A. FLORENTÍN. 1992. La mucuna y otras plantas de abono verde para pequeñas propiedades. Asunción, Paraguay. Dirección de Investigación Agrícola. Gabinete Técnico. 44 p. (Publicación miscelánea no. 22).

FATECHA, A., O. GUILLÉN y S. GIMÉNEZ. 1993. Efecto de la utilización de torta de filtro en suelos cultivados con caña de azúcar. DIA-MAG. Asunción, Paraguay. 21 p.

GÓMEZ, K. y A. GÓMEZ. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2 ed. Singapore, John Wiley. 680 p.

HANSEN, J. 1989. Influence of decomposing organic matter on aluminum. M.Sc. Thesis. University of Hawaii. Honolulu, Hawaii.

- HUE, N. V. y I. AMIEN. 1989. Aluminum detoxification with green manures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 20: 1499-1511.
- HUE, N. V. 1992. Correcting soil acidity of a highly weathered soil with chicken manure and sewage sludge. *Communications in soil and plant analysis* 23: 241-264.
- KIEHL, J. E. 1985. Fertilizantes orgánicos. Sao Paulo, Brasil, Agronómica Ceres. 492 p.
- KIEHL, J. E. 1993. Fertilizantes organominerales. Sao Paulo, Brasil, s.n. 189 p.
- LOPEZ, O., E. GONZALEZ, P. DE LLAMAS, A. MOLINAS, E. FRANCO, S. GARCIA y E. RIOS. 1995. Mapa de reconocimiento de suelos de la región oriental. Asunción, Paraguay, Williams y Heintz Map Corporation. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Esc. 1:500.000 Color.
- MARSCHNER, H. 1989. Mineral nutrition of higher plants. Academic press. Northern Ireland.
- Mc LEAN, E. O. 1965. Aluminum. *In* Methods of soil analysis; Part 2; Chemical and microbiological properties. 2 ed. Ed. by C.A. Black et al. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy p. 914-925.
- OLIVEIRA, E. DE y M. L. VALENGA PARIZOTTO. 1994. Características e uso de fertilizante do esterco de suíno. Brasil. IAPAR. 24 p. (Boletín técnico no. 83).
- OLSEN, S. R. y L. A. DEAN. 1965. Phosphorus. *In* Methods of soil analysis; Part 2, Chemical and microbiological properties. 2 ed. Ed. by C.A. Black et al., Madison Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 1035-1048.
- PAVAN, M.A. 1993. Avaliação de esterco de bovino biodigerido e curtido na fertilidade do solo e na nutrição e produção do cafeeiro. Brasil. IAPAR. 15 p. (Boletín técnico no. 45).
- PEECH, M. 1965. Hydrogen-ion activity. *In* Methods of soil analysis; Part 2 Chemical and microbiological properties. 2 ed. Ed. by C.A. Black et al., Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 914-925.
- PRIMAVESI, A. 1988. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. 9 ed. Sao Paulo, Brasil, Nobel. 545 p.
- RÍOS ARÉVALOS, E. O. 1986. Avaliação pelo capim colonião (*Panicum maximum* J.) do efeito de esterco e da uréia aplicados em uma areia quartzosa tratada com e sem $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Tesis Mag.Sc. Piracicaba, Bra., Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 67 p.
- UEHARA, G. y C. GILLMAN. 1981. The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charges. Westview tropical agriculture series nº 4, Westview press, Boulder, CO, USA. 209 p.
- VEGA, S. 1993. Charge characteristics, cation composition, and effects of organics amendments on highly weathered soils at different pH levels. Thesis M.Sc. University of Hawaii. 152 p.