
ARTÍCULO CIENTÍFICO

Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrus maximus*

Influence of fertilization on the physical and chemical properties of a soil dedicated to the production of Megathyrus maximus seed

J. F. Ramírez¹, Yousi Fernandez¹, P. J. González², Xiomara Salazar¹, J. M. Iglesias³ y Yuseika Olivera³

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes Cascajal.

Carretera Central, Crucero Digna, CP 54 490, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba

³Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey,

Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior, Matanzas, Cuba

Correo electrónico: bibmansd@capiro.vcl.sld.cu

RESUMEN: Se estudió la influencia que ejercen diferentes fuentes de fertilizante en las propiedades físico-químicas de un suelo Gley Nodular ferruginoso, dedicado a la producción de semilla de *Megathyrus maximus* (guinea) cv. Likoni. El diseño fue de bloques al azar, con cuatro réplicas, y se evaluaron los tratamientos siguientes: testigo; 3, 6 y 9 t de humus de lombriz por hectárea; 20, 40 y 60 t de estiércol vacuno por hectárea; y 180-50-75 kg de NPK por hectárea. La densidad real y aparente fluctuó entre los tratamientos; pero, en sentido general, fue superior ($p \leq 0,05$) en el testigo y en el NPK, para las profundidades de 0-10 y 10-20 cm, respectivamente. La humedad natural fue superior ($p \leq 0,05$) al aplicar 9 t de humus y 60 t de estiércol; mientras que la porosidad no difirió entre los tratamientos. La materia orgánica se incrementó, y el mejor resultado ($p \leq 0,05$) se obtuvo en el tratamiento de 9 t de humus. El rendimiento de semilla con 9 t de humus fue similar al de NPK (entre 41,0 y 91,3 kg de SPG/ha); sin embargo, la ganancia por concepto de venta de semillas y la ganancia por hectárea fueron superiores en el tratamiento con 9 t de humus, lo que propició un menor costo de producción (10,30 vs. 16,50 pesos/kg de semilla para humus y NPK, respectivamente). Se concluye que es factible, desde el punto de vista productivo y económico, el uso de abonos orgánicos en los sistemas de producción de semillas de guinea.

Palabras clave: estiércol vacuno, humus de lombriz, producción de semilla.

ABSTRACT: The influence exerted by different fertilizer doses on the physical and chemical properties of a ferruginous Gley Nodular soil, dedicated to the production of *Megathyrus maximus* (Guinea grass) cv. Likoni seed, was studied. The design was randomized blocks, with four replications, and the following treatments were evaluated: control (without fertilizer); 3, 6 and 9 t of earthworm humus per hectare; 20, 40 and 60 t of cattle manure per hectare; and 180-50-75 kg of NPK per hectare. The values of the real and apparent density fluctuated among the treatments; but, in general, they were at the end higher ($p \leq 0,05$) in the control and in NPK, for the depths 0-10 and 10-20 cm, respectively. The natural humidity was higher ($p \leq 0,05$) when applying 9 t of humus and 60 t of manure; while porosity did not differ among the treatments. The organic matter increased, and the best result ($p \leq 0,05$) was obtained in the treatment of 9 t of humus. The seed yield with 9 t of humus was similar to that of NPK (between 41,0 and 91,3 kg of PGS/ha); however, the profit for the sale of seeds and the profit per hectare were higher in the treatment with 9 t of humus, which propitiated a lower production cost (10,30 vs. 16,50 pesos/kg of seed for humus and NPK, respectively). It is concluded that the use of organic fertilizers in the systems of Guinea grass seed production is feasible, from the productive and economic point of view.

Key words: cattle manure, earthworm humus, seed production.

INTRODUCCIÓN

Las regiones tropicales del planeta se consideran grandes reservas de materias primas agrícolas para satisfacer el consumo mundial, la producción de alimentos e, incluso, la demanda de alimentos de una población que alcanzó 6 000 millones de habitantes al final del milenio (FAO, 2009). Sin embargo, estas reservas han disminuido paulatinamente, debido a la explotación indiscriminada de los agroecosistemas tropicales en los países más desarrollados. La actividad humana en la rama agropecuaria ha conllevado la asimilación de tierras vírgenes y terrenos baldíos, con la aplicación intensiva de recursos técnicos en la agricultura, tales como la mecanización, el riego y la quimización. Por otra parte, en los países menos desarrollados, con elevados índices de pobreza y de déficit comercial agrícola (FAO, 2002), el desconocimiento y la necesidad social conllevan la utilización inadecuada de las tierras. Esto ha propiciado el aumento de la degradación del suelo en diversas regiones del mundo (FAO, 2008); más del 20 % de las tierras agrícolas, el 30 % de los bosques y el 10 % de los pastizales se han afectado, lo que dificulta la adaptación y mitigación al cambio climático, ya que por la pérdida de biomasa y materia orgánica (MO) del suelo se desprende carbono a la atmósfera y esto afecta la calidad del suelo y su capacidad de mantener el agua y los nutrientes (Steduto *et al.*, 2012). Por tanto, es necesario monitorear la evolución de las propiedades edafológicas de los sistemas agrícolas (López, 2002), para poder pronosticar las variaciones que ocurren a causa de determinadas prácticas de explotación, lo cual permitiría aplicar medidas de mejoramiento ante los cambios globales inducidos por el hombre.

En este sentido, la fertilización constituye uno de los factores agrotécnicos más importantes para sostener e incrementar la producción de semillas de las plantas forrajeras (Gómez, 2002; Amberger, 2006; Formoso, 2012). En Cuba, sin embargo, la carencia y los altos precios de los fertilizantes químicos, unido a la necesidad de conservar el medioambiente, motivan la implementación de sistemas con bajos insumos para la producción de semillas, teniendo en cuenta las limitaciones de los suelos. De estos, el 65 % se incluyen en las categorías III y IV según el diagnóstico del Instituto de Suelos (2006), lo que implica que están afectados por factores limitantes y ello provoca que el rendimiento potencial esté por debajo del 50 %. Los

factores que más influyen en la baja productividad de los suelos cubanos son: el bajo contenido de nutrientes y de MO y la tendencia a la acidez (García *et al.*, 2012); esta última comprende el 27 % de los suelos dedicados a la ganadería.

En nuestro país existen amplias posibilidades de obtener estiércol a partir de diferentes especies, el cual sirve de materia prima para la producción de humus de lombriz, y se puede aplicar directamente en las áreas de producción de pastos. En este sentido, los abonos orgánicos se han utilizado desde tiempos remotos en todas las civilizaciones del mundo, con buenos resultados, lo que ha permitido la producción de alimentos en cantidades suficientes (Peña *et al.*, 1993). Estos mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, al remediar el problema de la fertilidad. Además, son ricos en microflora, que aporta gran cantidad de microorganismos que activan los procesos biológicos, para un mejor aprovechamiento de los nutrientes por las plantas (Pacheco, 2000).

Teniendo en cuenta estos antecedentes, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto que ejercen diferentes fuentes y dosis de abonos orgánicos sobre las propiedades hidrofísicas y químicas de un suelo dedicado a la producción de semillas de hierba guinea, así como los resultados económicos de estos sistemas en comparación con el sistema convencional de fertilización química.

MATERIALES Y MÉTODOS

Clima y suelo. La investigación se realizó en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Cascajal, ubicada a los 30° 21' de latitud Este y 20° 21' de longitud Oeste —municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara—, en un suelo alítico petroférico de baja actividad arcillosa, amarillento, Gley Nodular ferruginoso, subtipo Petroférico (Hernández *et al.*, 1994), y a una altura de 60 msnm. Las características químicas del suelo, así como los datos climáticos de la localidad, se muestran en las tablas 1 y 2, respectivamente.

Tratamientos y diseño

El diseño fue de bloques al azar, con ocho tratamientos y cuatro réplicas, en parcelas de guinea Likoni de 4 x 6 m, para una superficie experimental de 24 m² y un área útil de 15 m². Los tratamientos fueron:

1. Testigo (sin fertilización)
2. Humus de lombriz (3 t/ha)

Tabla 1. Características químicas del suelo (20 cm de profundidad).

pH (H ₂ O)	MO (%)	N total (%)	P asimilable (mg kg ⁻¹)	Cationes intercambiables (cmol kg ⁻¹)			
				Ca	Mg	Na	K
4,9	2,50	0,4	13	3,05	1,20	0,40	0,09

Tabla 2. Datos climáticos (precipitación total y temperatura media).

Mes	2001		2002		2003	
	Lluvia (mm)	Temperatura (°C)	Lluvia (mm)	Temperatura (°C)	Lluvia (mm)	Temperatura (°C)
Enero	21,0	22	58,0	24	—	23
Febrero	12,0	22	21,0	22	—	24
Marzo	84,0	23	54,0	23	45,5	26
Abril	101,0	25	67,0	23	—	26
Mayo	84,0	26	107,6	26	112,5	26
Junio	168,7	27	169,0	27	250,5	28
Julio	111,0	27	186,5	27	290,0	28
Agosto	95,0	28	167,0	27	169,2	29
Septiembre	429,0	27	44,5	28	243,5	28
Octubre	186,0	26	239,0	27	229,0	27
Noviembre	46,5	26	21,0	25	—	25
Diciembre	19,0	23	—	22	51,0	23
Total	1 357,2	—	1 134,0	—	1 391,2	—
x anual	113,1	—	94,5	—	115,9	—

- Humus de lombriz (6 t/ha)
- Humus de lombriz (9 t/ha)
- Estiércol vacuno (20 t/ha)
- Estiércol vacuno (40 t/ha)
- Estiércol vacuno (60 t/ha)
- Fertilización completa con 180-50-75 kg de NPK

La composición química de los abonos orgánicos se muestra en la tabla 3.

Procedimiento experimental

Siembra, fertilización y atenciones culturales. Después de realizar las labores convencionales de preparación de suelo (arado, grada, cruce, grada y surcado) y de crear un lecho adecuado, en el mes de septiembre de 2000 se sembró, con una distancia de 1 m entre surcos y 0,50 m entre macollas. A continuación de la siembra y la resiembra de la guinea, se hicieron labores de limpieza con azada y pase de cultivador con bueyes, con el fin de mantener las parcelas libres de plantas indeseables y garantizar la fase de establecimiento. Los abonos orgánicos se

aplicaron una sola vez —en el momento de la siembra—, de forma manual y en el fondo del surco; el humus se aplicó en base seca, y el estiércol, después de reposar en el estercolero durante 90 días. El fertilizante químico (PK) se aplicó durante la primavera, cada año, en dosis únicas de 50 y 75 kg/ha de P₂O₅ y K₂O, respectivamente; mientras que el N se fraccionó y aplicó en dosis de 60 kg/ha, después de cada cosecha de semilla y de un corte de la masa verde remanente, a una altura de 15 cm del suelo.

Los pasillos entre las parcelas y los cordones sanitarios se mantuvieron limpios, con la utilización de arado, grada y tracción animal con bueyes.

Cosecha de la semilla. La cosecha de las semillas se realizó en los periodos de marzo-abril, mayo-junio y septiembre-octubre —aunque hubo otras emisiones de semillas que no se consideraron—, de forma manual. Las panículas se cortaron con una hoz o un cuchillo, y se colocaron en sacos de nailon tejido para provocar su sudado. Posteriormente se sacudieron, trillaron, limpiaron y secaron hasta alcanzar un 12 % de humedad. Después se pesaron

Tabla 3. Composición química de los abonos orgánicos.

Abono	MO (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Ca (%)	Mg (%)	pH	Humedad (%)	Relación C:N
Humus	37,72	1,78	2,15	1,30	3,67	0,53	7,4	41,3	12:18
Estiércol	38,67	1,52	1,52	1,77	2,49	0,57	7,3	35,3	14:22

y almacenaron en sacos, en galpones con temperatura ambiente.

El rendimiento (kg/ha/año) de cada tratamiento se calculó a partir de la suma del pesaje de las semillas de cada cosecha. Asimismo, se determinó el rendimiento de semilla pura germinable (SPG) del material cosechado, secado y beneficiado, según las técnicas del ISTA (1995).

Muestreo del suelo. Se realizó un muestreo del suelo al inicio de la investigación, antes de aplicar los tratamientos y después de efectuar las cosechas de semillas. Para ello, se tomaron cinco submuestras en cada parcela y se conformó una muestra homogénea, que fue analizada en el laboratorio para conocer la variación de NPK, pH, cationes y MO en el tiempo. Las muestras se tomaron a las profundidades 0-10 y 10-20 cm, y los análisis se realizaron en el laboratorio del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) –Mayabeque, Cuba–. Los métodos utilizados se muestran en la tabla 4.

Evaluación económica. Para evaluar el impacto económico de la aplicación de los sistemas con fertilización, se comparó el costo de la fertilización con humus de lombriz con el del NPK. Se tuvo en cuenta los precios de estos fertilizantes, así como el costo de manipulación y acarreo del hu-

mus, además de los ingresos por la venta de semillas y de forraje verde.

Análisis estadístico. Se aplicó un ANOVA, y las medias se compararon mediante el test de rangos múltiples de Duncan (1955). Se utilizó el programa Statistica para Windows, Release 4.3 (1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densidad real es la relación que existe entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo, y resulta más o menos constante, ya que está determinada por la composición química y mineralógica de la fase sólida. En este indicador, tanto en el primer año como al final de la investigación, los mayores valores se obtuvieron en el testigo y en el tratamiento con NPK, los que difirieron del resto de los tratamientos ($p \leq 0,05$) en las profundidades 0-10 y 10-20 cm (tabla 5). En sentido general, los valores hallados durante el primer año (entre 2,39 y 2,63 g/cm³) se corresponden con los informados en la literatura para los suelos arcillosos, cuarcíticos o fedespaltos (Heredia, 2015). Sin embargo, después de tres años de explotación el suelo del área experimental disminuyó su densidad (por debajo de 2,3 g/cm³) y ello indica el aumento del contenido de MO (Thompson y Troeh, 1988; García *et al.*, 2009), principalmente en los trata-

Tabla 4. Indicadores y métodos utilizados para el análisis.

Indicador	Método
pH en H ₂ O	Potenciometría
MO (%)	Walkley y Black*
P ₂ O ₅ asimilable	Oniani*
K ₂ O	Maslova*
Ca	Maslova*
Mg	Maslova*
Densidad (real y aparente)	NRAG 371, NRAG 373 (MINAGRI, 1980)
Humedad natural	NRAG 371, NRAG 373 (MINAGRI, 1980)
Porosidad	P total = 1- (DA/DR) x 100

*Fuente: Paneque *et al.* (2001)

Tabla 5. Influencia de los tratamientos en las propiedades físicas del suelo.

Tratamiento	DR 0-10 g/cm ³	DR 10-20 g/cm ³	DA 0-10 g/cm ³	DA 10-20 g/cm ³	Po 0-10 %	Po 10-20 %	HN 0-10 %	HN 10-20 %
Primer año (2001)								
Testigo	2,60 ^a	2,63 ^a	1,26 ^a	1,29 ^a	44,25	45,25	10,72 ^b	11,97 ^b
3 t/ha H	2,54 ^{ab}	2,53 ^b	1,22 ^b	1,26 ^a	44,50	45,00	11,52 ^{ab}	13,62 ^{ab}
6 t/ha H	2,50 ^b	2,52 ^{bc}	1,18 ^c	1,21 ^b	48,25	49,00	12,12 ^{ab}	14,05 ^{ab}
9 t/ha H	2,48 ^b	2,50 ^{bc}	1,15 ^d	1,17 ^{bc}	47,50	47,00	14,72 ^a	15,42 ^a
20 t/ha E	2,43 ^c	2,51 ^{bc}	1,13 ^{de}	1,16 ^c	47,50	48,25	10,90 ^b	12,35 ^b
40 t/ha E	2,40 ^c	2,44 ^c	1,11 ^e	1,12 ^d	46,50	47,50	11,47 ^{ab}	15,05 ^a
60 t/ha E	2,39 ^c	2,42 ^c	1,10 ^e	1,12 ^d	47,00	46,75	14,65 ^a	15,32 ^a
NPK kg/ha	2,60 ^a	2,64 ^a	1,26 ^a	1,28 ^a	43,50	45,75	10,45 ^b	11,92 ^b
EE ±	0,02	0,14	0,01	0,12	0,50.	0,48	0,37	0,80
Tercer año (2003)								
Testigo	2,24 ^a	2,17 ^b	1,86 ^a	1,87 ^a	17,00	13,50	11,35 ^c	12,87 ^{abc}
3 t/ha H	2,10 ^b	2,05 ^{bc}	1,70 ^{bc}	1,63 ^b	20,25	20,50	12,22 ^{bc}	13,51 ^{abc}
6 t/ha H	2,06 ^b	2,07 ^{bc}	1,72 ^{bc}	1,62 ^b	15,75	20,00	14,31 ^b	10,09 ^c
9 t/ha H	2,06 ^b	2,07 ^{bc}	1,74 ^{bc}	1,63 ^b	16,00	19,50	15,28 ^a	15,21 ^{ab}
20 t/ha E	2,13 ^b	2,10 ^{bc}	1,76 ^{bc}	1,75 ^{ab}	17,75	18,25	12,64 ^{bc}	12,12 ^{abc}
40 t/ha E	2,06 ^b	2,11 ^{bc}	1,73 ^{bc}	1,65 ^b	14,50	22,25	10,95 ^c	14,02 ^{abc}
60 t/ha E	2,10 ^b	2,11 ^{bc}	1,62 ^c	1,67 ^b	23,00	25,00	15,76 ^a	16,89 ^a
NPK kg/ha	2,26 ^a	2,23 ^a	1,83 ^a	1,85 ^a	18,75	17,00	11,52 ^c	11,77 ^{bc}
EE ±	0,02	0,02	0,07	0,07	1,06	0,95	0,94	0,7

Promedios con superíndices no comunes en la misma columna difieren significativamente a $p \leq 0,05$ (Duncan, 1955)

H: humus, E: estiércol, DR: densidad real, DA: densidad aparente, Po: porosidad, HN: humedad natural.

mientos en que se aplicaron las enmiendas con humus y estiércol.

En el primer año, con la aplicación de las tres dosis de estiércol vacuno ($p \leq 0,05$), se obtuvieron los mejores valores en la profundidad 0-10 cm; mientras que en el horizonte 10-20 cm no hubo diferencias entre 20 t de este producto y las dosis de humus de lombriz, lo que fue más evidente al final del experimento al no existir diferencias significativas entre los fertilizantes orgánicos y el testigo, aunque estos difirieron con respecto a NPK. En el horizonte 0-10 cm no hubo diferencias entre los fertilizantes orgánicos al final de la investigación (año 3); sin embargo, estos difirieron del control y de la formulación química ($p \leq 0,05$), con valores que oscilaron entre 2,06 y 2,13 g/cm³.

Por otra parte, la densidad aparente de un suelo se suele utilizar como medida de su estructura. Una densidad baja, generalmente, equivale a la existencia de más porosidad y agregados, e implica mayor

estabilidad, menor compactación y, probablemente, mayor contenido de humedad respecto a un suelo con densidad alta (Doran, 1999). Este indicador mostró resultados negativos en todos los tratamientos, ya que aumentó después de tres años, con los mayores valores ($p \leq 0,05$) en el control y en NPK; ello indica que este suelo presenta altos niveles de compactación (Anon, 1982; Jaramillo, 2002), principalmente donde no se aplicó abonos orgánicos, lo que puede ser una limitante para la producción de semilla. Los valores obtenidos, incluso, fueron superiores a los informados por Cairo y Fundora (2002) para suelos arenosos y poblados con pinos en la provincia de Pinar del Río, y a los descritos por Padrón *et al.* (2012) en alfisoles con pastos, en Yaracuy, Venezuela.

En sentido general, la aplicación de estiércol y humus permitió que se obtuvieran los mejores valores de densidad aparente y real del suelo, lo que coincide con lo informado por Baldock y Nelson

(2000), y está relacionado fundamentalmente con el contenido de MO que ambos aportan al suelo (Medina *et al.*, 2001), lo que favoreció el mayor desarrollo de las raíces y su respiración, así como la absorción de los nutrientes realizada por la guinea (Matías, 1996).

Por otra parte, los tratamientos no afectaron la porosidad al principio ni al final de la investigación, aunque esta tendió a disminuir durante los años de evaluación, lo que estuvo relacionado con el aumento de la densidad aparente (Rubio, 2010) que es provocado por la progresiva compactación, causada a su vez por el pisoteo y el uso indebido de los implementos de labranza (Arias, 2001). Los valores de porosidad obtenidos durante el primer año se encuentran dentro de la categoría de normales a medios (Klimes, 1970; Moreno, 2015), aunque no se correspondieron con los valores de densidad aparente, que provocan un volumen de poros superior a 50 % (Thompson y Troeh, 1988, Rucks *et al.*, 2004). En los años sucesivos la porosidad fue muy baja, lo que quizá provocó la disminución de la macroporosidad, la velocidad de infiltración del agua y la aireación. Ello pudo causar el anegamiento, la anoxia y la dificultad de las raíces para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios (Mora y Toro, 2007). En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de las plantas es impedido o retardado (Donoso *et al.*, 2000), lo que influye en la disminución progresiva del rendimiento de las gramíneas (Pérez *et al.*, 2000; Pérez *et al.*, 2006).

Respecto a la humedad natural del suelo, durante el primer año 9 t de humus y 60 t de estiércol difirieron ($p \leq 0,05$) del testigo y de NPK en ambos horizontes; al igual que 40 t de estiércol en 10-20 cm. Después de tres años de investigación, sucedió algo similar en el horizonte 0-10 cm con 9 t de humus, 60 t de estiércol y 6 t de humus; este último difirió, a su vez, de los anteriores. En 10-20 cm, 60 t de estiércol difirió del fertilizante químico y de 6 t de humus, pero fue igual al resto de los tratamientos. Este indicador no evidenció una marcada tendencia al aumento o a la disminución de la humedad durante el periodo experimental, aunque se favoreció por las dosis más altas de abonos orgánicos; lo que, según Ibrahim y Mora (2006), permite la mejora de la fauna edáfica, así como el incremento de la población de macro- y microorganismos que habitan y benefician el estado físico del suelo. Estas poblaciones ejercen una función vital respecto a la estructura y al ciclo de nutrientes en los ecosistemas tropicales.

En la tabla 6 se presentan los resultados de las variables químicas evaluadas. Las dosis de 60 t de

estiércol y 9 t de humus influyeron directamente sobre los valores de K, P y MO en el primer año ($p \leq 0,05$) con respecto al testigo, y difirieron en el contenido de MO respecto al tratamiento NPK, al igual que la dosis de 40 t de estiércol. Las menores aplicaciones de humus y estiércol no generaron cambios en el contenido de MO, con respecto al suelo sin fertilizar y al fertilizado con NPK. Tampoco se evidenció la influencia de los diferentes tratamientos en los contenidos de Ca y Mg y en el pH del suelo.

En este sentido, es necesario señalar que el estudio se efectuó en un suelo desaturado. Antes de aplicar los tratamientos este presentaba bajo contenido de MO y de P y K asimilables, así como elevada acidez (tabla 1), con pH inferior a 5. Tales características están estrechamente relacionadas con la génesis de este tipo de suelo, formado a partir de rocas metamórficas (esquistos cuarcíticos) y en el que han ocurrido procesos de ferratización y lixiviación que producen una fuerte pérdida de las bases a través del perfil y la aparición del H^+ en el complejo de cambio (Jouravleva, 1996; Zapata, 2004); situación que, de mantenerse, constituye una fuente constante de acidificación (acidez hidrolítica).

Después de tres años de evaluación se observaron cambios en el Ca, el Mg y el pH del suelo por efecto de los tratamientos ($p \leq 0,05$), así como en el contenido de MO; mientras que se mantuvo la tendencia en los niveles de K, con los mejores valores para 9 t de humus de lombriz. Aunque los tenores de P aumentaron con el tiempo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos al final de la investigación. En este sentido, Daza *et al.* (2008) plantearon que la adición de fertilizantes orgánicos e inorgánicos es una solución temporal a la fijación de P, por lo que se requiere que estos se apliquen de forma periódica para incrementar la cantidad de P en solución y su disponibilidad para las plantas, pues se origina una mineralización muy rápida de la MO y la lixiviación de los fertilizantes aplicados, lo que limita el efecto de la adición de estos materiales sobre la adsorción de P.

En sentido general, los mejores tratamientos fueron 9 t de humus y 60 t de estiércol, ya que siempre difirieron del testigo, y con el primero se obtuvo el valor más alto de MO (3,34 %). Un aspecto importante fue la disminución de la acidez en los tratamientos con abonos orgánicos, debido al aumento de las proporciones de Ca y Mg (FAO, 1999) y del contenido de MO en el suelo y su transformación mineralógica; mientras que en el testigo aumentó

Tabla 6. Influencia de los tratamientos en las propiedades químicas del suelo.

Tratamiento	K cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	Ca cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Mg cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	pH H ₂ O	M.O %
Primer año (2001)						
Testigo	0,060 ^c	27,00 ^b	3,60	0,70	4,5	2,22 ^c
3 t/ha H	0,070 ^{bc}	28,00 ^{ab}	3,72	0,80	4,3	2,33 ^{bc}
6 t/ha H	0,070 ^{bc}	32,25 ^a	3,72	0,80	4,4	2,35 ^{bc}
9 t/ha H	0,097 ^a	35,25 ^a	3,72	0,80	4,5	2,67 ^a
20 t/ha E	0,070 ^{bc}	29,50 ^{ab}	3,75	0,80	4,5	2,30 ^{bc}
40 t/ha E	0,080 ^{ab}	28,50 ^{ab}	3,60	0,80	4,4	2,65 ^a
60 t/ha E	0,095 ^a	34,50 ^a	3,80	0,80	4,5	2,71 ^a
NPK kg/ha	0,080 ^{ab}	29,50 ^{ab}	3,60	0,80	4,5	2,29 ^c
EE ±	0,04	1,60	0,09	0,095	0,04	0,063
Tercer año (2003)						
Testigo	0,06 ^{bc}	30,75	3,87 ^c	0,95 ^c	4,35 ^c	2,08 ^d
3 t/ha H	0,06 ^{bc}	33,60	4,10 ^c	1,15 ^{bc}	5,25 ^b	3,05 ^{bc}
6 t/ha H	0,07 ^{ab}	34,25	4,15 ^c	1,62 ^{abc}	5,7 ^a	3,34 ^{ab}
9 t/ha H	0,09 ^a	34,50	5,55 ^{ab}	2,10 ^a	5,6 ^a	3,34 ^a
20 t/ha E	0,06 ^{bc}	31,50	4,32 ^c	1,60 ^{abc}	5,2 ^b	2,98 ^c
40 t/ha E	0,07 ^{ab}	40,00	4,70 ^{bc}	1,90 ^{ab}	5,4 ^b	2,99 ^{bc}
60 t/ha E	0,08 ^{ab}	41,75	5,80 ^a	2,22 ^a	5,8 ^a	3,21 ^{bc}
NPK kg/ha	0,07 ^{ab}	43,80	4,70 ^{bc}	1,75 ^{abc}	4,5 ^c	3,18 ^{bc}
EE ±	0,004	4,47	0,31	0,26	0,07	0,02

E: estiércol, H: humus

a, b, c: promedios con superíndices no comunes en la misma columna difieren significativamente a $p \leq 0,05$ (Duncan, 1955).

ligeramente la acidez, y en el de NPK se mantuvo el mismo nivel del primer año.

Al aplicar los tratamientos, los abonos orgánicos provocaron cambios importantes en el contenido y la estabilidad de los nutrientes en el suelo, lo que no ocurrió en el suelo no fertilizado. Ello resulta típico en este tipo de fertilización (Watabase, 1993), y es atribuible a la mejora en la disponibilidad de nutrientes, así como a un posible incremento de la población de microorganismos, que pudieran interactuar de forma beneficiosa con el suelo y las plantas (Johnson *et al.*, 2003; Ouédraogo *et al.*, 2004). El estiércol vacuno y el humus de lombriz contienen la mayor parte de los nutrientes y elementos minerales en forma asimilable, lo que los hace muy efectivos para mejorar el suelo. En dosis relativamente bajas pueden corregir las deficiencias y ejercer un efecto positivo en las propiedades edáficas, lo que permite sustituir total o parcialmente los

fertilizantes químicos, así como atenuar los efectos de la contaminación ambiental, abaratar los costos y obtener rendimientos aceptables con menos cantidad de fertilizantes (Ramírez *et al.*, 2002). En esto desempeña un papel importante el carbono orgánico del suelo, reconocido globalmente como un factor fundamental para la salud de este, ya que es parte fundamental del ciclo del carbono y tiene gran importancia en la mitigación de los efectos del cambio climático (FAO, 2015).

En la tabla 7 se muestran algunos elementos relacionados con la valoración económica de la producción de semillas al aplicar fertilizantes. En este caso se comparó la aplicación de 9 t de humus de lombriz con el uso de NPK.

Las mayores ganancias en los tres años se obtuvieron con la aplicación del humus de lombriz, lo que no estuvo relacionado con la mayor producción o ingresos por concepto de semillas, sino con la re-

ducción de los gastos por el uso de fertilizante solo en el primer año y, en parte, con un mayor ingreso por concepto de venta de forraje verde. El rendimiento de semilla fue similar en todos los años para ambos tratamientos, con tendencia a disminuir en el tercero (valores por debajo de 45 kg de SPG/ha). Los valores de producción se consideran relativamente altos para esta variedad en los dos primeros años, ya que en la literatura se informa entre 280 y 750 kg de semilla total/ha o un potencial de producción de 51 kg de SPG kg/ha (Ramírez, 2002; Pérez *et al.*, 2006). A pesar de que en el análisis no se tuvo en cuenta el precio de la semilla, que generalmente representa alrededor del 30 % de los costos de implantación del sistema (Arbitó, 2011), con lo anterior se demuestra que la producción de semilla es una actividad complicada, que presenta elevados costos de establecimiento. Sin embargo, el ciclo productivo de la semilla declina a partir del segundo año (Seré, 1985).

En estudios realizados por Oquendo *et al.* (2008), el valor de la producción obtenida por concepto de venta de semilla de guinea Likoni fue de 2 028, 1 692 y 1 512 pesos/ha, para áreas sembradas con semilla botánica, trasplantes y macollas, respectivamente. Estas cifras son superiores a las alcanzadas en la presente investigación, lo que pudo estar relacionado con que en dicho estudio se

utilizó riego y la producción fue mayor. Estos autores reportaron un costo de establecimiento de 634 pesos/ha, similar al del tratamiento con humus de lombriz, si se calculan los costos por concepto de la compra de semilla.

La reducción de los gastos en el tratamiento con humus de lombriz redundó en un costo por peso (0,36 vs. 0,53) y un costo por kilogramo de semilla (8,1 vs. 11,1) menores en ese sistema de producción, si se compara con el de NPK. Ello posibilita abaratar los precios de la semilla que se comercializa a los productores, que supera los 15,0 USD/kg con tecnologías que emplean los fertilizantes químicos (Pérez *et al.*, 2006).

Se concluye que los abonos orgánicos, principalmente las dosis de 9 t de humus de lombriz y 60 t de estiércol, ejercieron un efecto positivo en las propiedades físicas del suelo, así como un incremento de los contenidos de P, K, Ca, Mg y de la MO, con un aumento sensible del pH, lo que redundó en una producción de semilla muy similar a la alcanzada con fertilizantes químicos. Esto, a su vez, propició mejores ganancias económicas y reducciones en el costo de producción y en el costo del kilogramo de semilla producida, además de la reducción de la toxicidad en el suelo por la no utilización de agrotóxicos.

Tabla 7. Valoración económica de la producción de semillas (1 ha) con abono orgánico y químico (pesos cubanos).

Indicador	2001		2002		2003		Total	
	HL	NPK	HL	NPK	HL	NPK	HL	NPK
Gastos en siembra	185,1	185,1					185,1	185,1
Gastos en atenciones culturales	120,1	120,1	115,3	115,3	115,3	115,3	350,7	350,7
Gastos en fertilización	158,2	246,0		246,0		246,0	158,2	738,0
Gastos en cosecha de semilla	110,1	110,1	110,1	110,1	110,1	110,1	330,3	330,3
Gastos en cosecha de forraje verde	205,5	205,5	205,5	205,5	205,5	205,5	616,5	616,5
Total de gastos	779,0	866,8	430,9	676,9	430,9	676,9	1 640,8	2 220,6
Ingresos por semilla	1 088,4	1 095,6	824,4	818,4	501,6	492,0	2 414,4	2 406,0
Ingresos por forraje verde	880,0	700,0	847,5	742,5	392,5	282,5	2 120,0	1 725,0
Total de ingresos	1 968,4	1 795,6	1 671,9	1 560,9	894,1	774,5	4 534,4	4 131,0
Ganancia	1 189,4	928,8	1 241,0	884,0	463,2	97,6	2 893,6	1 910,4
Costo/peso	0,39	0,48	0,26	0,43	0,48	0,87	0,36	0,53
Rendimiento de SPG (kg)	90,7	91,3	68,7	68,2	41,8	41,0	201,2	200,5
Costo/kg de semilla	8,6	9,5	6,3	9,9	10,3	16,5	8,1	11,1

HL: dosis de 9 t de humus de lombriz por hectárea en una sola aplicación; NPK: fertilización completa con la fórmula 180-50-75 de NPK por año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amberger, A. *Soil fertility and plant nutrition in the tropics and subtropics*. First version. Paris, France; Horgen, Switzerland: IFA, IPI, 2006.
- Anon. *Suelos de Cuba. Resúmenes de trabajos investigativos*. La Habana: Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes. INRA, 1982.
- Arbito, N. E. *Evaluación de la producción de pastos mediante la siembra de ray grass inglés (Lolium perenne) y trébol rojo (Trifolium pratense) en un predio establecido de kikuyo (Pennisetum clandestinum), en suelos con pendiente de riesgo, comparado con la aplicación de abono de gallina y yaramila, en el cantón Guachapala*. Tesis presentada para la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
- Arias, A. C. *Propiedades de suelos tropicales. Suelos tropicales*. ed. San José, Costa Rica: UNED, 2001.
- Baldock, J. A. & Nelson, P. N. Soil organic matter. In: M. E. Summer, ed. *Handbook of Soil Science*. Washington: CRC Press. p. B25-B84., 2000.
- Cairo, P. & Fundora, O. *Edafología*. 3 ed. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2002.
- Daza-Torres, M. C.; Álvarez-Herrera, J. G. & Camacho-Tamayo, J. H. Aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en la adsorción de fósforo en un Oxisol. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 12 (5):451-457, 2008.
- Donoso, C.; Escobar, B.; Castro, H.; Zúñiga, A. & Grez, R. Sobrevivencia y crecimiento de Alerce en plantaciones experimentales en la Cordillera de la costa de Valdivia. *Revista Bosque*. 21 (1):13-23, 2000.
- Doran, D. C. *Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo*. EUA: USDA, 1999.
- Duncan, D. B. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*. 11:1-42, 1955.
- FAO. *Agricultura mundial hacia los años 2015/2030. Informe resumido*. Roma: FAO, 2002.
- FAO. *Aumenta la degradación del suelo*. FAO Sala de Prensa, 2008. <http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2008/1000874/index.html>.
- FAO. *Educación ambiental para el trópico de Cochabamba. Guía del Maestro*. Cochabamba, Bolivia: UNDCP, FAO, 1999.
- FAO (Ed.). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Foro de expertos de alto nivel-Cómo alimentar al mundo 2050. Roma: FAO, 2009.
- FAO. *Propiedades químicas*. Roma: FAO, 2015.
- Formoso, D. *Efecto de la fertilización (macro y micro-nutrientes) en la producción de semillas de gramineas forrajeras tropicales (Revisión)*. Pasturas de América, 2012.
- García, Y.; Ramírez, W. & Sánchez, S. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*. 35 (2):125-138, 2012.
- García-Quintana, Y.; Flores, J.; Geada-López, G.; Escarré-Estévez, A.; Castillo-Martínez, I. & Medina-Malgón, M. Relación entre atributos ecofisiológicos de la especie vulnerable *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* y características ambientales de ocho localidades en Pinar del Río, Cuba. *Interciencia*. 34 (5):344-349, 2009.
- Gómez, I. La producción de semillas *in situ*: estrategia agroecológica para pequeñas fincas ganaderas en Cuba. *LEISA*. 18 (1):31, 2002.
- Heredia, E. *Densidad real y aparente y porosidad del suelo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2015.
- Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. & Rivero, L. *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*. La Habana: AGRINFOR, 1994.
- Ibrahim, M. & Mora, J. (Eds.). Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios. *Memorias de la conferencia electrónica "Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales"*. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2006.
- Instituto de Suelos (Ed.). La evaluación de tierras, base para el monitoreo de la degradación de los suelos. *Resúmenes del Taller "La metodología LADA y la evaluación de las tierras de Cuba"*. La Habana, 2006.
- ISTA. *Handbook of vigor tests methods*. 3 ed. Zürich: International Seed Testing Association, 1995.
- Jaramillo, D. F. *Introducción a la ciencia del suelo*. 1 ed. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2002.
- Johnson, N. C.; Rowland, D. L.; Corkidi, L.; Eger-ton-Warburton, L. M. & Allen, E. B. Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semi-arid grasslands. *Ecology*. 84 (7):1895-1908, 2003.
- Jouravleva, I. *Influencia del encalado en las propiedades químicas, físicas y físico-químicas de los suelos ferralíticos ácidos de Cuba*. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana, 1996.
- Klimes, A. *Suelos cubanos. Física de suelos*. La Habana: Editorial Orbe, 1970.
- López, R. Evaluación de impactos generados por los agentes causantes de la degradación y/o pérdida de los suelos y medidas correctas. En: *Degradación del suelo. Causas, procesos evaluación e investigación*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. p. 280, 2002.
- Matías, C. Efecto de la fertilización orgánica sobre la producción de semilla de *Neonotonia wightii* cv. Tinaroo. *Pastos y Forrajes*. 19 (1):65-71, 1996.

- Medina, L. F.; Jaime, M.; Chueca, C.; Bocanera, B.; Toro, F. & Mascaró, P. P. (Eds.). *Presencia y cuantificación de Azotobacter sp. y Azospirillum sp. en lombricomposto*. Segunda Reunión de Producción Vegetal del NOA. San Miguel de Tucumán, Argentina, 2001.
- MINAGRI. *Normas ramales 262, 263, 371, 373, 375*. La Habana: MINAGRI, 1980.
- Mora, E. & Toro, M. Estimulación del crecimiento vegetal por *Burkholderia cepacia*, una cepa nativa de suelos ácidos de sabanas venezolanas. *Agron. Trop.* 57 (2):123-128, 2007.
- Moreno, A. *Relación suelo-agua-plantas. Conceptos básicos*. España: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, 2015.
- Oquendo, G.; Pérez, A.; Martínez, A.; Cordovés, A.; Ortega, F. & Vieito, E. Producción de semilla de guinea (*Panicum maximum* Jacq.) en un sistema intensivo de ceba de ganado vacuno. *Pastos y Forrajes*. 31 (3):247-254, 2008.
- Ouédraogo, E.; Mando, A. & Brussaard, L. Soil macrofaunal-mediated organic resource disappearance in semi-arid West Africa. *Appl. Soil Ecol.* 27:259-267, 2004.
- Pacheco, O. *Medidas de conservación para suelos potencialmente erosionables*. Resumen ampliado de la tesis presentada en opción al título académico de Maestro en Ciencias en Fertilidad del Suelo. La Habana, 2000.
- Padrón, L.; Torres, D. G.; Contreras, J.; López, M. & Colmenares, C. Aislamientos de cepas fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo en un suelo alfisol venezolano. *Rev Mex. Cienc. Agríc.* 3 (2):285-297, 2012.
- Paneque, V. M.; Calderón, M.; Calaña, J. M.; Carruncha, M.; Hernández, Y. & Borges, Y. *Manual de técnicas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. La Habana: INCA, 2001.
- Peña, J. L.; Peña, F.; Cancio, T.; Pereira, H. & Hernández, C. (Eds.). *Sistema de medidas antierosivas en la región premontañosa del Escambray*. Memorias del XI Congreso Latinoamericano y II Cubano de la Ciencia del Suelo. La Habana: Instituto de Suelos, 1993.
- Pérez, A.; Matías, C. & González, Y. *Tecnologías para la producción de semillas de pastos y forrajes*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2000.
- Pérez, A.; Matías, C.; González, Y. & Alonso, O. Producción de semillas de gramíneas y leguminosas tropicales. En: *Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos*. Guatemala: Universidad de San Carlos, EEPF Indio Hatuey. p. 103-128, 2006.
- Ramírez, J.; González, P. J.; Vieito, E.; Clavel, N.; Arzola, J.; Ruiz, B. *et al.* Efecto de la fertilización orgánica en la producción de semillas de *Andropogon gayanus* cv. CIAT-621 y *Pueraria phaseoloides* cv. CIAT-9900. *Pastos y Forrajes*. 25 (2):81-86, 2002.
- Ramírez, J. F. *Fertilización orgánica mineral en la producción de semillas de Panicum maximum Jacq. cv. Likoni*. Tesis presentada en opción al título de Master en Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2002.
- Rubio, A. M. *La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornoques*. Proyecto fin de carrera para optar al título de Ingeniero Técnico Agrícola, especialidad en Explotaciones Agropecuarias. España: Universidad de Sevilla, 2010.
- Rucks, L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce de León, J. & Hill, M. *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo: Facultad de Agronomía, Universidad de la República, 2004.
- Seré, C. Aspectos económicos de la producción de semillas de plantas forrajeras en el trópico latinoamericano. *Pasturas Tropicales*. 7 (3):20-23, 1985.
- Steduto, P.; Hsiao, T. C.; Fereres, E. & Raes, D. *Crop yield response to water*. Rome: FAO, 2012.
- Thompson, L. M. & Troeh, F. R. *Los suelos y su fertilidad*. 4 ed. Barcelona: Editorial Reverté, 1988.
- Watabase, N. Studies on behavior of nitrogen and management of rational fertilizer application to soil of tea (*Camellia sinensis*) fields. *Bulletin of the Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture (Japan)*. (135):87-182, 1993.
- Zapata, R. H. *Química de la acidez del suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2004.

Recibido el 16 de agosto del 2014

Aceptado el 24 de julio del 2015