

Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"

**Fertilización orgánica y mineral para la producción de semillas
de canavalia y maíz en una secuencia de cultivos**

Autor: Ing. Pedro José González Cañizares
Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes

Tutor: Dr. Arístides Pérez Vargas
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"

Tesis en opción al grado de M.Sc.

Junio del 2002
"Año de los Héroes Prisioneros del Imperio"

Agradecimientos

- *A mis compañeros del Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, especialmente a los Inés. Eduardo Vieito, Juan Ramírez y Noel Clavel, al Dr. Fernando Funes y a los técnicos Juan Arbola y Arístides Hernández, por su estrecha colaboración y trabajo de equipo.*
- *Al Colectivo de Profesores de la Estación Experimental “Indio Hatuey”, en especial al Dr. Arístides Pérez Vargas, por su inestimable apoyo y asesoría en la conducción de este trabajo.*
- *A los compañeros Idania Cedeño, Dulce Ma. Vento y Grisel Sotomayor, por el apoyo brindado en el procesamiento estadístico de los datos, la mecanografía y la corrección del documento.*

A todos, mi más profundo agradecimiento.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
1.1 La canavalia (<i>Canavalia ensiformis</i> (L) DC): una leguminosa de interés para los agroecosistemas del trópico	2
1.2 Alternativas de fertilización para la producción de forraje, grano y semilla de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	3
1.3 La materia orgánica del suelo	5
1.3.1. Los abonos orgánicos	7
1.3.2 Contribución de los abonos orgánicos al incremento de la capacidad productiva de los suelos	8
1.3.3 Empleo de la fertilización orgánica en la producción de semillas de plantas forrajeras	11
1.4 Rotación de cultivos	12
1.4.1 Papel de las leguminosas en la rotación de cultivos	12
1.4.2 Producción de semillas y granos en sistemas de rotación de cultivos	14
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1 Condiciones experimentales	16
2.2 Procedimiento Experimental	16
2.2.1 Experimento 1. Efectos de la fertilización orgánica en las características químicas y físicas del suelo y el cultivo de la canavalia.	16
2.2.2 Experimento 2. Efecto residual de la fertilización orgánica e influencia del arpe en el cultivo del maíz.	16
2.2.3 Experimento 3. Sustitución de los fertilizantes químicos por los abonos orgánicos para la producción de semillas en una secuencia de cultivos canavalia-maíz.	16
2.3 Evaluaciones realizadas	17
2.4 Análisis estadístico	17
2.5 Valoración económica	18
CAPITULO III. Efectos de La fertilización orgánica en las características químicas y físicas del suelo y en el cultivo de la canavalia	19
3.1 Resultados	19
3.2 Discusión	20
CAPITULO IV. Efecto residual de la fertilización orgánica e influencia del arpe en el cultivo del maíz	23
4.1 Resultados	23
4.2 Discusión	24
CAPITULO V. Sustitución de los fertilizantes químicos por los abonos orgánicos para la producción de semillas de canavalia y maíz en una secuencia de cultivos	26
5.1 Resultados	26
CONSIDERACIONES ECONÓMICAS	28
CONCLUSIONES	29
RECOMENDACIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	31
ANEXOS	36

Indice de tablas

TABLA 1. Características del suelo del área experimental (prof. 0-20 cm).	36
TABLA 2. Comportamiento de las precipitaciones (mm) durante el periodo experimental.	36
TABLA 3. Caracterización de los abonos orgánicos (% MS).	36
TABLA 4. Efecto de los abonos orgánicos en las características químicas del suelo.	36
TABLA 5. Efecto de los abonos orgánicos en las propiedades físicas del suelo.	37
TABLA 6. Cantidad y masa de nódulos en la raíz principal de <i>Canavalia ensiformis</i>	37
TABLA 7. Rendimiento de semilla pura de canavalia y sus componentes.	37
TABLA 8. Producción de biomasa y contenido de nutrientes (kg ha^{-1}) en los residuos de cosecha de la canavalia.	38
TABLA 9. Producción de biomasa y extracción de nutrientes (kg ha^{-1}) por los residuos de la canavalia.	38
TABLA 10. Efectos de los abonos orgánicos y el arropo en las características químicas del suelo.	38
TABLA 11. Efectos de los abonos orgánicos y el arropo en propiedades físicas del suelo.	38
TABLA 12. Efectos de los abonos orgánicos y el arropo en el rendimiento de semilla de maíz y sus componentes.	39
TABLA 13. Masa de mil semillas y rendimientos de semilla pura de la canavalia y el maíz.	39
TABLA 14. Capacidad de germinación (%) de las semillas de canavalia y maíz.	39
TABLA 15. Eficiencia económica de la fertilización en la secuencia de cultivos canavalia-maíz.	40

Indice de figuras

Fig. 1. Relaciones entre las variables del suelo y el rendimiento de semilla pura de canavalia.	40
Fig. 2. Relaciones entre las variables del suelo y el rendimiento de materia seca de canavalia.	41
Fig. 3. Relaciones entre las concentraciones de P en el tejido vegetal y los rendimientos de la canavalia.	41
Fig. 4. Velocidad de descomposición de los residuos de canavalia.	42
Fig. 5. Nitrógeno liberado por los residuos de canavalia y absorbido por el maíz.	42
Fig. 6. Relaciones entre las variables del suelo y el rendimiento de semilla pura de maíz.	43

INTRODUCCIÓN

Las profundas transformaciones de que fue objeto la ganadería cubana desde el triunfo de la Revolución, tuvieron en cuenta la necesidad de incrementar el volumen y el valor nutritivo de los alimentos de la masa ganadera, fundamentalmente a través de los pastos y forrajes. Este principio adquiere gran importancia en los momentos actuales, si se tiene en cuenta la carencia de insumos externos que ha afectado al sector en los últimos diez años.

Para llevar a cabo los programas de siembra que demanda la ganadería se necesitan cavados volúmenes de semillas de las cuales hoy no se dispone. La producción de semillas pratenses y forrajeras, que creció de modo sostenido entre los años 85 y 90 hasta alcanzar la cifra de 800 t anuales (MINAG, 1982), sufrió una marcada disminución en los años posteriores y se convirtió en una de las actividades más afectadas del sector ganadero (Funes, Yañez y Vieito, 2000).

La producción de semillas se sustentó principalmente en el empleo de tecnologías de altos insumos externos, donde los fertilizantes químicos desempeñaron un papel fundamental en el incremento de los rendimientos y la calidad de las mismas. De acuerdo con las recomendaciones vigentes, las aplicaciones de fertilizantes a los bancos de semillas llegaron hasta 360, 50 y 75 kg/ha/año de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente, en dependencia de la especie y la fertilidad de los suelos (Pérez, Matías y González, 1995).

La escasez de recursos, unido a la necesidad de adoptar "tecnologías limpias" que no comprometan la calidad del medio ambiente, ha obligado a buscar alternativas para satisfacer la demanda de semillas de la ganadería, basadas sobre todo en el máximo aprovechamiento de los recursos locales. Se ha demostrado que el empleo de los desechos orgánicos, los abonos verdes / cultivos de cobertura y la asociación espacial y temporal de cultivos, entre otras tecnologías, contribuyen a potenciar el reciclaje de los nutrientes, mejoran la fertilidad de los suelos y hacen a los sistemas agrícolas menos dependientes de los agroquímicos (Boonman, 1993; Altieri, 1996).

Estas tecnologías adquieren gran importancia en las zonas tropicales, donde la aplicación de prácticas inadecuadas de manejo del suelo ha contribuido a acelerar los procesos degradativos naturales que tienen lugar en dicha región. Según datos del Instituto de Suelos (2001), el 76.8% de los suelos agrícolas cubanos clasifican ya como poco o muy poco productivos, de acuerdo con su aptitud para los diferentes cultivos.

En relación con el reciclaje de los desechos, se conoce que el estiércol vacuno -quizás el residuo sólido más abundante en los agroecosistemas ganaderos- ha sido utilizado con éxito para mejorar los suelos e incrementar los rendimientos de biomasa de las especies forrajeras (Crespo y Arteaga, 1984; González, Eguiarte y Galina, 1996).

También el humus de lombriz, un abono de alta calidad que se puede producir a partir de desechos orgánicos biodegradables y a muy bajo costo en las propias unidades, ha mostrado su efectividad como mejorador del suelo y fertilizante para los cultivos (Caballero, Gandarilla y Pérez, 1998; González, Vieito, Ramírez y Cruz, 2000).

García (1997) y Bunch (2000) encontraron aumentos de los rendimientos de los cultivos, mejoras de la fertilidad del suelo y reducciones significativas de las dosis de fertilizantes químicos y otros insumos externos, con sistemas adecuados de rotación y asociación de cultivos y con el uso de los abonos verdes / cultivos de cobertura.

Aunque el empleo de tecnologías de bajos insumos no es muy abundante en los sistemas de producción de semillas, trabajos realizados en Cuba por Matías (1996), Pérez, Vieito, González y Ramírez (2000) y Vieito (2001) han demostrado la posibilidad de producir semillas de especies forrajeras de buena calidad con el uso de abonos orgánicos procedentes de fuentes locales y en sistemas de rotación y asociación de cultivos, con la sustitución total o parcial de los fertilizantes químicos.

Teniendo en cuenta los antecedentes expuestos, se realizó este trabajo basado en la hipótesis siguiente:

El uso de los abonos orgánicos y el aprovechamiento de los residuos de cosecha en una secuencia de cultivos canavalia-maíz puede ser una alternativa viable para incrementar los rendimientos y la calidad de las semillas, compensar total o parcialmente el déficit de fertilizantes químicos y mantener e incrementar la fertilidad del suelo.

De acuerdo con la hipótesis planteada, se realizaron tres experimentos con los siguientes objetivos:

1. Evaluar los efectos de la fertilización orgánica en las características químicas y físicas del suelo y en el cultivo de la canavalia.
2. Evaluar el efecto residual de la fertilización orgánica y la influencia del arroyo con residuos de cosecha de canavalia, en el cultivo del maíz.
3. Determinar el nivel de sustitución de los fertilizantes químicos por los abonos orgánicos para la producción de semillas de canavalia y maíz en una secuencia de cultivos.

CAPITULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 La canavalia (*Canavalia ensiformis* (L) DC): una leguminosa de interés para los agroecosistemas del trópico

Aunque el género *Canavalia* presenta una amplia distribución en las regiones tropicales, *Canavalia ensiformis* (L) DC es la especie que más se cultiva en África, Asia y Oceanía, así como en el sur de los Estados Unidos, Centro y Suramérica y en la región del Caribe (Aymard y Cuello, 1993).

Su empleo como fuente de proteína, abono verde y cultivo de cobertura, en el control biológico de plagas y en la alimentación humana, ha contribuido a su rápida difusión en los agroecosistemas del trópico (Cáceres, González y Delgado, 1995; Bunch, 2000).

La importancia de la canavalia para la alimentación animal se concentra en el alto contenido de proteínas asimilables de sus hojas, flores y frutos (27-29%). Se ha demostrado que su inclusión en la dieta de pollos de engorde, becerros y vacas lecheras puede disminuir el uso de alimentos concentrados, con un saldo económico muy favorable (Paredes, Escobar, Paz y Rivero, 1987; Marín y Viera, 1990).

Díaz, González, Curbelo, Cruz y Mora (1987), al evaluar varias leguminosas de alto tenor proteico para la obtención de concentrados de proteína foliar, encontraron que la canavalia superó en rendimiento ($181.9 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y contenido de proteína (65,6% de PB) al resto de las especies. Ciffo, Díaz, Lon-Wo y González (1999) demostraron la factibilidad económica del uso de harina de granos crudos de canavalia y otras leguminosas, en la alimentación avícola.

La presencia de compuestos antinutricionales en la canavalia ha sido algunas veces motivo de preocupación, al pensarse en su uso para la alimentación animal. Sin embargo, los avances experimentales obtenidos en la eliminación de toxinas disminuyen su riesgo potencial para producir efectos indeseables en los animales que la consumen. Por ejemplo, se ha demostrado que la concanavalina A y la canavanina, dos compuestos cuyos efectos perjudiciales en la salud de los animales han sido probados, pueden destruirse con tratamientos de calor mediante el tostado o el uso de la autoclave, en tanto que el remojo, la germinación y la cocción de la semilla pueden disminuir en un 50, 30 y 42%, respectivamente, la presencia de estas sustancias en las plantas (Carmena, Gómez y Seidd, 1993).

La canavalia posee una amplia tolerancia a las condiciones ambientales pudiendo crecer con temperaturas medias anuales de 14 a 27°C, precipitaciones de 700 a más de 4000 mm anuales y desde el nivel del mar hasta 1 800 m de altitud. Además, se destaca su capacidad para tolerar tanto excesos como déficit hídricos (Marín, 1993).

Según Bunch (2000) esta especie es capaz de sobrevivir en las peores condiciones, ya que es extremadamente resistente a la sequía, a suelos pobres y ácidos, a la sombra, al ataque de insectos y enfermedades. Puede cultivarse durante la temporada seca, en ambientes muy marginales donde los cultivos regulares no crecerían.

Observaciones hechas por Marín (1993) demostraron que la canavalia mantiene su crecimiento vegetativo aún después del comienzo de la época de sequía, pudiendo realizar la fotosíntesis con bajos valores de potencial hídrico foliar. La susceptibilidad a los excesos de agua es alta sólo en la fase de plántula.

Marín y Viera (1990) plantearon que la canavalia puede mostrar altos rendimientos en granos y en biomasa aérea en condiciones de suelo y clima muy disímiles. Esos niveles de rendimiento se asocian a una alta productividad, expresada en términos de índice de crecimiento del cultivo ($\text{ICC} = 10.1 - 10.6 \text{ g/m}^2/\text{día}$), una gran superficie asimilatoria evidente en el Índice de área foliar ($\text{IAF} = 3.17 - 4.14$), una duración del área foliar medianamente alta (127-134 días) y una distribución de asimilados que dedica el 60% ó más de la biomasa aérea a la formación de frutos. Los valores máximos de productividad ($20.4\text{-}28.1 \text{ g/m}^2/\text{día}$) son comparables con los señalados para otras leguminosas en cultivos muy intensivos.

El rendimiento en grano varía con las condiciones ambientales, el manejo y las variedades. No obstante, en muchos casos superan los $3\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ (Marín y Viera, 1990; Marín, 1996). Los rendimientos en grano y semilla de las plantas efectivamente noduladas pueden exceder los 100 g / planta, bajo condiciones favorables de clima y fertilidad del suelo (Lynd y Ansman, 1993).

La especie incluye una sobresaliente capacidad, por parte de las plantas colonizadas por micorrizas y bien noduladas, para crecer continua y vigorosamente y regenerarse bajo severas condiciones climáticas y edáficas. El amplio rango de adaptabilidad al clima y al suelo ha sido de gran valor para la producción de proteína a partir de los granos y para la producción de forraje en regiones marginales, sometidas a sequías frecuentes o en suelos pobres o salinos (Lynd y Ansman, 1993).

Bajo condiciones favorables desarrolla sistemas radicales nodulados y colonizados por micorrizas, con una masa de nódulos de *Rhizobium* que puede exceder la tercera parte del peso fresco total del sistema nódulo-raíz. Lynd y Ansman (1989) y Navas y Marín (1995), en diferentes condiciones de suelo y sin aplicaciones de N, encontraron valores de masa de nódulos / planta superiores a 1000 mg, alrededor de los 80 días después de la siembra.

No obstante, cuando se cultiva en suelos degradados y de baja fertilidad, se puede mejorar su productividad con un suministro adecuado de nutrimentos. Kessler, Ramírez, Almendáriz y Herrera (1993) plantearon que los desórdenes nutricionales más comunes que se observan en las plantas cultivadas bajo estas condiciones son la deficiencia de P y, en menor medida, las de S y K. La acidez del suelo también suele ser un factor limitante de la producción de granos del cultivo.

Viera y Ramis (1993) observaron que el rendimiento de granos disminuye a medida que aumenta la acidez del suelo y se manifiesta con una reducción del crecimiento de todas las partes de la planta, aunque otros factores como las deficiencias de P ó de Ca y la toxicidad por Al ó Mn pudieran también estar involucrados.

En este sentido, González, Vieito, Ramírez, Cepero y Clavel (2001) encontraron que la reducción de los rendimientos de semilla de la canavalia en el transcurso de diez años, estuvo asociada a la disminución de los contenidos de Ca, P y materia orgánica y al aumento de la acidez actual y potencial del suelo.

Debido a que este cultivo desarrolla sistemas nodulares efectivos, pocas veces se obtienen resultados positivos con las aplicaciones de N. Navas y Marín (1995) no observaron efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento en granos, lo que indicó que el mecanismo de fijación biológica cubrió los requerimientos del cultivo. De acuerdo con los propios autores, la alta concentración de N en la semilla (5%) y su elevado peso (aproximadamente 1.5 g) en comparación con otras leguminosas, sugieren que no es necesario aplicar [as dosis bajas de este elemento recomendadas para otros cultivos al momento de la siembra.

Marín y Viera (1990) observaron que el N fijado representó el 45% del N total acumulado por la planta. También obtuvieron correlaciones altamente significativas entre el N fijado y el peso promedio de nódulos / planta y entre el contenido de N de la planta y el peso promedio de nódulos / planta.

En cuanto a (a fertilización con otros nutrimentos, Kessler et al. (1993) no encontraron efectos significativos de las aplicaciones de P y K en el rendimiento de semilla, en experimentos realizados en suelos limosos con altos contenidos de fósforo y materia orgánica.

González, Vieito, Ramírez y Cruz (2000) constataron que los abonos orgánicos (estiércol vacuno y humus de lombriz) pueden sustituir totalmente a las aplicaciones de P y K recomendadas para la producción de forraje y semillas, en suelo Ferralítico Rojo de mediana fertilidad.

Se plantea que después del frijol de terciopelo (*Mucuna spp.*), la canavalia es la especie más ampliamente utilizada como abono verde / cultivo de cobertura (Bunch, 2000). A ello ha contribuido no sólo su capacidad de adaptación a diferentes condiciones edáficas y climáticas, como se discutió anteriormente, sino también sus potencialidades para incorporar al suelo un volumen considerable de materia orgánica y nutrientes, fundamentalmente N y para proveerlo de una densa cobertura (García, 1997; Bunch, 2000).

Cuando la canavalia se utiliza como abono verde puede aportar al suelo más de 300 kg ha⁻¹ de N, con niveles óptimos de humedad y nodulación efectiva (Marín y Viera, 1990). Sin embargo, no deben subestimarse las cantidades de N y otros nutrientes que se pueden incorporar al suelo con el material que queda en el campo luego de la cosecha de granos, ya que por esta vía se han estimado aportes de más de 90 kg ha⁻¹ de N y reducciones importantes de las dosis de fertilizante nitrogenado que deben aplicarse a los cultivos sucesores (Marín, 1996; Martins y Laene, 1998).

Las posibilidades de la canavalia para crecer y desarrollarse en condiciones desfavorables para otras especies y los beneficios que se obtienen con su utilización en la alimentación animal o como abono verde y cultivo de cobertura, la han convertido en un cultivo imprescindible para los sistemas agrícolas sostenibles (Cáceres et al, 1995; Bunch, 2000).

1.2 Alternativas de fertilización para la producción de forraje, grano y semilla de maíz (*Zea mays* L.)

El maíz es un cultivo importante en muchos países del mundo. Junto con el arroz y el trigo, pertenece al grupo de los cereales que proporcionan aproximadamente el 65% de los carbohidratos que consume el hombre (FAO, 1994).

El grano de maíz contiene un 65-70% de carbohidratos, 10-12% de proteínas y 4-6% de grasa, además de vitaminas A, E y C, una serie de aminoácidos esenciales, sales minerales y microelementos. Esta composición condiciona su alto valor nutritivo (Ustimenko, 1982).

El maíz tiene mucha importancia como cultivo forrajero. Su grano se emplea para la nutrición de toda clase de animales, ya que 1 kg de MS contiene aproximadamente 78 g de proteína digerible. El ensilado resalta por su buena digestibilidad y alto valor nutritivo. Se conoce que 1 kg de silo de maíz puede contener hasta 18 g de proteína digerible (FAO, 1994).

El maíz requiere suelos profundos, de estructura fina y bien drenados, con una elevada capacidad de retención de humedad, abundante materia orgánica y bien abastecido de nutrientes. Los valores óptimos de pH oscilan entre 6 y 7 (Ingram y Swift, 1999).

Sin embargo, en las regiones del trópico, donde la mayor parte de los suelos agrícolas presentan síntomas de degradación y pérdida de la fertilidad, debido fundamentalmente a su manejo inadecuado (Primavesi, 1990;

Duran, 1996), pocas veces se encuentran condiciones ideales para el cultivo del maíz (Freitas, Cantarella, Sawazaki y Mello, 2001). Ello conduce a la aplicación de altas dosis de fertilizantes químicos para aumentar los rendimientos, lo que trae consigo un incremento de los costos que pocas veces pueden afrontar los productores de escasos recursos, además de las consecuencias ambientales negativas que implica el uso excesivo de éstos (van der Meersh, 1992; Bunch, 2000).

El maíz extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo. Se plantea que las plantas absorben como promedio 3 kg de N, 1.5 kg de P_2O_5 y 3 kg de K_2O para producir 100 kg de grano (FAO, 1994).

El nitrógeno es el elemento que más limita los rendimientos del maíz, el cual puede tener una tasa de absorción de 4 kg ha^{-1} por día en el período de mayor crecimiento (Guzmán, Marrero y González, 1988). Con una nutrición adecuada de N aumenta el rendimiento de materia seca de la planta, la masa de la mazorca, la masa de mil granos y la cantidad de proteína del grano y el forraje (Onim, Mathuva, Otieno y Fitzhugh, 1990, Gichuru, 1991).

Estudios realizados en zonas tropicales han demostrado que las dosis óptimas de N para el cultivo del maíz oscilan entre 100 y 180 kg ha^{-1} , en dependencia de la variedad y las condiciones de fertilidad del suelo. La respuesta al fósforo y al potasio también ha estado ligada a los factores antes mencionados, con dosis óptimas entre 60 y 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 y entre 80 y 150 kg ha^{-1} de K_2O (González, Battie, Dueñas y López, 1992; Araújo y Almeyda, 1993, Marrero, Guzmán, Permuy, González, Hernández, Me Donaid y Ojeda, 2001).

Los altos precios de los fertilizantes químicos y la necesidad de disponer de tecnologías limpias que no comprometan la calidad del medio ambiente, han sugerido la búsqueda de alternativas para la nutrición del maíz, basadas principalmente en (a) utilización de recursos locales. El uso de los abonos orgánicos, abonos verdes, cultivos de cobertura y la rotación y asociación de cultivos entre otras tecnologías, han demostrado que se pueden incrementar (o) rendimientos del cultivo y disminuir el empleo de los fertilizantes químicos, con resultados viables desde el punto de vista económico y ambiental (Onim, et al., 1991; Álvarez, García y Treto, 1999).

El efecto de los abonos orgánicos en el cultivo del maíz está estrechamente ligado a la influencia que éstos ejercen en la fertilidad del suelo. Su aplicación puede sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes químicos, en dependencia de la calidad del abono, el tipo de suelo y la sistematicidad de su empleo.

Powell (1986) encontró que las aplicaciones de 30 a 40 t ha^{-1} de estiércol vacuno incrementaron en 1 t ha^{-1} los rendimientos de grano del maíz y lograron sustituir en más de un 80% las dosis de fertilizante químico recomendadas para el cultivo. En todos los casos, la respuesta estuvo asociada al incremento de los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo asimilable del suelo.

Biart, González, Beltrán y García (1996) constataron un aumento en los rendimientos del maíz y los mayores beneficios económicos, con la aplicación de 41 ha^{-1} de biotierra más el 50% de la fertilización mineral.

Buresh, Jama y Swinkels (1997) utilizaron estiércol vacuno y hojas de *Calliandra calothyrsus* como fuentes de P para el cultivo del maíz en un suelo con alta capacidad de fijación de este elemento. Según los resultados obtenidos por los autores, el rendimiento de grano y forraje igualó y algunas veces excedió a los obtenidos con la aplicación de superfosfato triple. El análisis de sensibilidad demostró la factibilidad del empleo de ambos materiales orgánicos, debido a su efecto en los rendimientos y a sus bajos costos.

Ortiz, Sánchez y Gutiérrez (2001) lograron incrementar los rendimientos de grano del maíz con aplicaciones de entre 1 y 5 t ha^{-1} de lodos provenientes del tratamiento de las aguas de desecho, con un ahorro de más del 50% de los fertilizantes químicos.

Resultados similares se han obtenido con el uso de los abonos verdes y cultivos de cobertura, donde la respuesta del maíz también ha estado vinculada a los efectos que éstos ejercen en el suelo y a las cantidades de nutrientes (principalmente N) que aportan al cultivo.

Araújo y Almeyda (1993) plantearon que las leguminosas pueden aportar de 80 a 100 kg ha^{-1} de N al cultivo del maíz, según la especie utilizada como abono verde, la relación C:N del material, manejo adoptado (incorporación o deposición de los residuos en la superficie), la capacidad de suministro de N del suelo, los factores climáticos y el intervalo de tiempo entre el corte del abono verde y la siembra del cultivo comercial. Estos autores no encontraron diferencias entre las formas de utilización de la canavalia (cobertura o incorporada al suelo) como cultivo precedente del maíz.

Martins y Laene (1998) estudiaron cinco especies de leguminosas como abonos verdes para el cultivo del maíz. Estas produjeron entre 1438 y 3823 kg ha^{-1} de MS y promovieron el mantenimiento de los niveles de nitrato en el suelo, independientemente de la época de incorporación. Los rendimientos de forraje y grano de maíz aumentaron hasta 1.5 y 13.2 t ha^{-1} , respectivamente, con el uso de los abonos verdes, con ahorros de entre el 25 y el 50% de la fertilización nitrogenada.

Mandimba (1998) encontró que el uso de *Mucuna prunens* y *Crotalaria juncea* como abonos verdes resultó equivalente a la aplicación de 88 y 76 kg ha^{-1} de N. En ambos casos el rendimiento de granos del maíz superó al testigo en 1.21 ha^{-1} .

Álvarez et al., (1999), al evaluar cuatro especies de leguminosas como precedentes culturales del maíz, observaron un incremento en los rendimientos del grano, el cual fue superior al control absoluto entre 1 y 2.4 t ha⁻¹ y a la variante con fertilización mineral entre 0.3 y 1.81 ha⁻¹. *Crotalaria Juncea* y *Sesbania rostrata* tuvieron un mejor comportamiento, debido a los altos aportes de fitomasa con relaciones C:N relativamente bajas. El coeficiente de aprovechamiento del N de los abonos verdes varió entre 25 y 89%, en dependencia de las especies, siendo el N proveniente de *Mucuna* sp. el más eficientemente utilizado por el maíz.

En relación con el uso de coberturas vivas, Gichuru (1991) encontró que la especie *Tephrosia candida* incrementó en un 55% la producción de granos y biomasa de maíz. El autor reportó altas correlaciones entre los rendimientos y los contenidos de N del suelo.

Yamoah y Mayfield (1990) evaluaron un grupo de leguminosas con potencialidades de uso como cultivos de cobertura para el maíz, atendiendo a su rendimiento vegetativo, contenido de nutrientes y nivel de cobertura del suelo. Los mejores resultados se obtuvieron con las especies *Canavalia ensiformis* y *Mucuna pruriens*, las cuales lograron incrementos en un 40% los rendimientos de biomasa del maíz, con una cobertura total del suelo.

Monedero, Alfonso, González y Uriarte (2001), en un estudio sobre la asociación maíz-leguminosas, observaron que los rendimientos de grano se vieron favorecidos con todas las especies evaluadas, excepto con la *Crotalaria juncea*. Las asociaciones redujeron al menos en un 25% la dosis de fertilizante nitrogenado recomendada para el cultivo del maíz. Los mejores resultados se obtuvieron con *Canavalia ensiformis*.

Una adecuada rotación de cultivos puede contribuir a reducir el uso de fertilizantes químicos en el maíz. Los esquemas bien diseñados, generalmente incluyen a las leguminosas como cultivos precedentes, por su capacidad para aportar nitrógeno al sistema y mejorar la fertilidad del suelo (Thomas yasakawa, 1994).

Así Tarawali (1991) constató una reducción del 50% de la dosis de N para el cultivo del maíz, cuando este cultivo fue precedido por *Stylosanthes*.

Angers (1992) observó que la alfalfa, utilizada como cultivo precedente del maíz, mejoró la fertilidad del suelo e incrementó los rendimientos de semilla en 1.5 t ha⁻¹, en comparación con el monocultivo.

Dueñas, Sánchez, Gómez, Muñiz y López (1998) al evaluar el reciclaje del N en una sucesión frijol-maíz-frijol, encontraron que la incorporación al suelo de los restos de la cosecha del frijol tuvo una influencia positiva en la utilización de N en el sistema, a pesar de que la cantidad de N aportada por el cultivo precedente no superó los 29 kg ha⁻¹.

El uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal abre nuevas perspectivas en la nutrición del maíz. Se ha podido comprobar que éstas pueden estimular el crecimiento del sistema radical, con el consecuente aumento de la toma de nutrientes y agua, además de disminuir el empleo de fertilizantes minerales (Hernández, Heydrick, Fernández, Hernández y Santander, 1998).

1.3 La materia orgánica del suelo

Se conoce que la conservación del suelo está indisolublemente ligada al mantenimiento del contenido y calidad de su materia orgánica, tanto de la fracción muerta como de su dinámica fracción viva (Ortega, 1982; Rivero, 1999).

La materia orgánica del suelo cumple funciones de vital importancia, relacionadas con el funcionamiento general de los ecosistemas. Dentro de éstas, se plantean sus efectos en la» propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Rivero, 1999).

En los ecosistemas naturales, la materia orgánica del suelo ejerce el papel central en el almacenamiento y el reciclaje de los nutrientes. Ello explica por qué los suelos tropicales son capaces de soportar una vegetación exuberante, pese a la fuerte degradación a que están sometidos debido a factores climáticos adversos. La conversión de tales ecosistemas en sistemas de cultivo intensivo hace disminuir el contenido de materia orgánica del suelo y de hecho rompe el equilibrio natural del flujo de los nutrientes, al reducir drásticamente su capacidad productiva (Primavesi, 1990; Treto, 1995; Crespo-y Rodríguez, 2000).

La materia orgánica del suelo constituye una mezcla heterogénea de sustancias en diferentes fases de transformación, donde la formación de los compuestos más estables es el resultado de un conjunto de reacciones físicas, químicas y biológicas muy complejas (Rivero y Paolini, 1994; Schullen y Schnitzer, 1997).

De acuerdo con las condiciones edafoclimáticas de cada región, cantidades mayores o menores de residuos, principalmente de origen vegetal, llegan al suelo e inician un complejo proceso de transformación hacia formas estables, conocidas como sustancias húmicas y a las cuales les corresponde el 85% de la fracción orgánica del suelo (Stevenson, 1994).

Las sustancias no humificadas constituyen el porcentaje restante y están formadas por residuos de origen vegetal y animal, restos de microorganismos y los productos intermedios de su descomposición. Ellas desempeñan un papel importante en la vida del suelo y su fertilidad (Yagodin, 1986; Fokin, 1994).

Las sustancias no humificadas ejercen un efecto estimulante en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Algunas de ellas (los ácidos orgánicos, por ejemplo) participan en la descomposición de los minerales del suelo, poniendo a disposición de las plantas un grupo de sustancias nutritivas. Además, los elementos contenidos en ellas, tales como el nitrógeno, el fósforo, el azufre y otros, pasan a formas asimilables y constituyen una fuente directa de nutrientes para los cultivos (Yagodin, 1986; Stevenson, 1994).

Entre los residuos que llegan al suelo se encuentra una serie de compuestos orgánicos de difícil descomposición por su compleja estructura, tales como proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, lignina y otros, que se transforman en productos estables de naturaleza específica y constituyen la fuente para las sustancias húmicas (Stevenson, 1994; Trettin, Davidian, Jurgensen y Lea, 1996).

Según Stevenson (1994), existen cuatro teorías en la actualidad que permiten explicar el complejo proceso de formación del humus:

- Alteración del material vegetal
- Polimerización química
- Autólisis de las células
- Síntesis microbiana

De acuerdo con este autor, independientemente de cuál de las teorías propuestas resultare definitivamente aceptada, el producto final tendrá características que serán un reflejo del material orgánico inicial y de la acción de factores climáticos y antrópicos.

La materia orgánica del suelo está formada, en general, por dos grandes grupos de estructuras: moléculas de alto y bajo peso molecular. En el primer caso se ubican los ácidos húmicos, cuyos valores pueden variar entre 20 000 y 100 000 unidades; en el segundo, se encuentran los ácidos fúlvicos, con pesos que oscilan en un rango de 500 a 2 000 unidades. Ambos contienen una gran cantidad de grupos funcionales (hidroxilos fenólicos, carboxilos, etc.) que le confieren una alta reactividad. Ello, unido a su elevada superficie específica, hace que la fracción orgánica del suelo, aun a bajos contenidos, sea responsable de un alto porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico del mismo (Ajwa y Tabatabai, 1994; Rivero, 1999).

Rivero (1999) planteó que el aporte de la materia orgánica a la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, puede enfocarse básicamente desde dos puntos de vista. El primero y más evidente es que la misma constituye una fuente directa de macro y micronutrientes, vía proceso de mineralización; el segundo se refiere a su participación en los procesos que mejoran la disponibilidad de éstos.

En relación con el nitrógeno, se conoce que cerca del 90% de este elemento presente en el suelo se encuentra en forma orgánica y que su disponibilidad para las plantas depende del balance que se establezca entre los procesos de mineralización e inmovilización (Casanova, 1996; Rivero, 1999). El predominio de uno u otro proceso depende de la relación C:N de la materia orgánica y de los materiales frescos llegados al sistema. Sin embargo, en la actualidad se plantea que el contenido de lignina y polifenoles de las sustancias orgánicas que llegan al suelo, reflejan mejor la dirección del proceso (Palm y Sánchez, 1991; Crespo y Rodríguez, 2000).

Con respecto al fósforo, Stevenson (1994) observó que las formas orgánicas constituyen entre el 15 y el 89% del contenido total del elemento en el suelo. El fósforo, al igual que el nitrógeno, puede ser mineralizado o inmovilizado en el suelo y el predominio de uno u otro proceso dependerá de la relación C:P de la materia orgánica.

Relaciones mayores que 300 conducen a la inmovilización y menores que 200, favorecen la mineralización neta de este elemento.

Se conoce el efecto que ejerce la materia orgánica en la disponibilidad del fósforo en suelos con elevados contenidos de sesquióxidos de Fe y Al, muy frecuentes en condiciones tropicales. Los aniones orgánicos son adsorbidos por los sesquióxidos e impiden la fijación del anión fosfato a las partículas coloidales del suelo, aumentando su accesibilidad para las plantas (Yagodin, 1986; Makarov, Zech y Houmaier, 1995).

La materia orgánica del suelo constituye un reservorio de la mayoría de los micronutrientes requeridos por las plantas. Se ha demostrado que ésta puede suministrar suficientes cantidades de B, Cu, Fe y Zn para los cultivos, desde las etapas tempranas de su crecimiento (Warman y Cooper, 2000).

La materia orgánica tiene una gran influencia en las propiedades físicas del suelo, sobre todo en su estructura, capacidad de retención del agua, velocidad de infiltración, etc. (García, 1997; Rivero, 1999). Según Primavesi (1990), la materia orgánica rica en celulosa estimula la formación de ácidos poliurónicos a partir del incremento de la población bacteriana. Estas sustancias actúan como adherentes de las partículas del suelo y sirven de alimento a hongos y actinomicetos que con sus hifas ayudan a conservar la estabilidad de los grumos.

Se ha encontrado una relación inversa entre la densidad aparente del suelo y su contenido de materia orgánica. La inducción de una buena agregación del suelo provocada por un incremento en el contenido de materia orgánica, modifica su porosidad y, en consecuencia, la densidad aparente (Herrick y Lal, 1995; Angers, Recous y Alta, 1997).

La mayoría de las sustancias orgánicas incrementan la capacidad de retención de agua del suelo, debido a su acentuado carácter hidrofílico. La materia orgánica es capaz de retener hasta 20 veces su peso en agua, lo que evita la desecación del suelo (Emerson, Foster, Tisdall y Weisman, 1994).

En relación con el efecto inhibitor de la materia orgánica en los procesos erosivos, Rivero y Paolini (1994) y Angers (1998) plantearon que la formación de agregados estables a la acción del agua hace al suelo más resistente al impacto de la lluvia y el viento.

La actividad biológica de la fracción viva de la materia orgánica del suelo es de vital importancia, ya que de ella depende el funcionamiento de múltiples procesos bioquímicos que intervienen en el sistema suelo-planta (Zaman, Di, Cameron y Frampton, 1999; Lalande, Gagnon, Simard y Cote, 2000).

Los productos que se originan con la degradación de los residuos orgánicos sirven de fuente energética para (os macro y microorganismos que habitan en el suelo-Fauci y Dick (1994) observaron que en aquellos suelos donde el aporte de materiales orgánicos es bajo, ya sea por la poca cantidad de residuos que se incorpora o por la baja frecuencia de aplicación de éstos, se produce una drástica disminución de la biomasa microbiana y su actividad enzimática y, de hecho, una ruptura del equilibrio de los nutrientes,

La actividad de la biota edáfica es muy importante en la regulación de los procesos biológicos y bioquímicos que tienen lugar en el suelo. Los ciclos del N, S, P y otros elementos están dirigidos por diferentes comunidades de macro y microorganismos, lo que a la vez ejercen su influencia en la estructura física, disponibilidad de nutrientes y en los procesos de transformación de la materia orgánica del suelo (Gregorich, Ellert, Drury y Liang, 1996; Crespo y Rodríguez, 2000).

1.3.1 Los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos ejercen multilateral efecto en las propiedades agronómicas de los suelos y en caso de su utilización correcta elevan de forma acusada la cosecha de los cultivos agrícolas (Yagodin, 1986).

Los estiércoles, la turba, los desechos urbanos y los residuos orgánicos agrícolas e industriales constituyen fuentes de abono orgánico de inestimable valor para la agricultura. La mayor parte de estos fertilizantes constituyen recursos locales ya que, por regla general, las granjas no lo introducen de afuera (a excepción de los desechos urbanos e industriales), sino que lo acumula en el mismo lugar (excretas y residuos de cosechas), los extrae (la turba), los prepara (compost y humus de lombriz) o los cultiva, como ocurre en el caso de los abonos verdes (Yagodin, 1986, Sánchez y Salinas, 1991).

La materia orgánica fue la principal fuente de nutrientes en la agricultura hasta la mitad del siglo XX. Actualmente, el renovado interés en el uso de las fuentes orgánicas crea la necesidad de entender mejor los beneficios y los problemas de estos abonos (Crespo y Rodríguez, 2000).

Los abonos orgánicos poseen menores concentraciones de sustancias nutritivas que los fertilizantes químicos, pero a diferencia de éstos, aportan materia orgánica y muchos otros elementos esenciales que estimulan la actividad física, química y biológica del suelo y el desarrollo de los cultivos. Ello compensa la supuesta desventaja de aplicar dosis mayores de abonos orgánicos para lograr rendimientos adecuados (van der Meersh, 1992).

Las tendencias actuales en el uso de los abonos orgánicos se basan en el criterio de lograr con cantidades limitadas de dichos materiales, una transformación de las propiedades físicas, químicas y biológicas que garanticen un arreglo estructural favorable en el suelo. En este caso no se tienen tanto en cuenta las riquezas de los residuos, sino su capacidad para contribuir a la formación de grumos, la regulación del pH, la solubilidad de los nutrimentos poco asimilables y la regulación de los procesos de descomposición, mineralización y humificación de la materia orgánica. Este enfoque Integral del papel de los abonos orgánicos en el manejo de la fertilidad del suelo, contribuye a su empleo racional y económico en los sistemas agrícolas (Cairo, 1997).

Gran parte de las sustancias nutritivas de los fertilizantes orgánicos se hace accesible para las plantas a medida que ocurre su mineralización, pero el balance entre lo que se hace disponible para los cultivos y lo que se incorpora a la materia orgánica del suelo depende de una serie de factores que van desde aquéllos inherentes al material orgánico hasta los dependientes de la intervención antrópica (Rivero, 1999).

García (1997) planteó que el volumen y calidad de los residuos que se incorporan al suelo, así como la forma en que éstos son manejados, regulan el grado y la extensión de la liberación o inmovilización de los nutrientes y la eficiencia del material incorporado.

Se asegura que la calidad del abono orgánico afecta la eficiencia metabólica de los descompositores microbianos. De acuerdo con Ajwa y Tabatabai (1994), los indicadores de calidad varían entre los diferentes tipos de materiales orgánicos y están dados por su contenido de N, S, C, lignina y carbohidratos.

La relación C:N y la cantidad de lignina y celulosa presentes en los residuos orgánicos ejercen una marcada influencia en su velocidad de descomposición, existiendo entre ambos una relación inversa. Cuanto mayor es la relación C:N y la cantidad de lignina y celulosa, más lenta es la descomposición de los residuos, los cuales tienden a acumularse en el suelo de forma parcialmente descompuesta (Broersma, Juma y Robertson. 2000).

Los residuos con una relación C:N alta (mayor de 25) contribuyen a mejorar la estructura del suelo y aunque no son una fuente inmediata de nutrimentos para las plantas, pueden contribuir a un suministro continuo de éstos a largo plazo (Angers, 1998).

En los residuos con una relación C:N baja (menor de 25) la mineralización es más rápida, pudiendo llegar a ocurrir pérdidas, fundamentalmente de N, a medida que la relación se hace más estrecha y sobre todo, si no se sincroniza el suministro de nutrientes del abono con la demanda del cultivo abonado (van der Meersh, 1992; Green y Blackmer, 1995).

Por otra parte, Palm y Sánchez (1991) y Ajwa y Tabatabai (1994) encontraron que la concentración de lignina en el material orgánico fue mejor predictor de la velocidad de descomposición de los residuos, que las concentraciones de N. De igual modo, las sustancias con altos contenidos de polifenoles solubles sufrieron un retardo en la velocidad de descomposición, debido a la formación de polímeros húmicos que resisten la mineralización.

Además de la calidad del material orgánico, otros factores como la temperatura, la humedad y las características del suelo influyen directamente en el proceso de mineralización de los abonos.

Se ha observado que la composición del residuo disminuye linealmente con la disminución del contenido del agua del suelo a causa de la reducción de la actividad microbiana (Hagedorn, Sekayange y Zech, 1997).

De forma general, la mineralización se incrementa con el aumento de la temperatura, a tal punto de comprometer las posibilidades de mantener niveles adecuados de la fracción orgánica del suelo, como generalmente ocurre en las regiones tropicales. Algunos autores han señalado un rango de temperatura óptima que oscila entre 25 y 40°C (Trettin et al., 1996).

Estudios realizados por Rodríguez, Crespo, Torres y Fraga (1997) sobre la velocidad de desaparición de las bostas de ganado vacuno en el pastizal, arrojaron que en los primeros 60 días éstas perdieron entre el 40 y el 60% de su peso inicial y desaparecieron totalmente en un término de 90 a 210 días. Se obtuvieron elevados coeficientes de correlación (> 0.98) entre la velocidad de desaparición de las bostas y los factores climáticos lluvia y temperatura.

Van der Meersh (1992) observó un incremento en la velocidad de descomposición de residuos de *Leucaena leucocephala* y *Cassia siamea*, con la llegada de las lluvias, aunque en este proceso se constató una mayor influencia de la calidad del residuo que de los factores abióticos.

En relación con las características del suelo, Rivero (1999) planteó que el alto contenido de arcilla disminuye el proceso de mineralización, debido a su capacidad para retener altas cantidades de C y formar complejos organominerales. De igual modo, la mineralización ocurre mejor en suelos aireados y se favorece en condiciones de pH ligeramente ácido a básico. En los suelos ácidos este proceso se limita a causa de la baja actividad de los microorganismos (fundamentalmente las bacterias) que intervienen en él (Whitmore y Groot, 1997).

Para que el contenido de materia orgánica en el suelo se mantenga en un nivel constante, la producción primaria deberá ser de tal magnitud que permita que una parte satisfaga la alimentación humana, mientras que la otra garantice la cantidad de materia orgánica y nutrientes que han sido extraídos del suelo. Esto resulta difícil, debido al hecho de que las fuentes que componen los abonos orgánicos difieren en su composición de nutrientes y en las formas de su liberación (Crespo y Rodríguez, 2000).

Cuando el interés principal es el suministro de nutrientes a los cultivos, los abonos orgánicos deben ser aplicados de forma tal que se descompongan y liberen los nutrientes de forma sincronizada con el crecimiento vegetal. Pero si el interés es mantener o aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos pobres, puede requerirse una combinación de materiales orgánicos de difícil y fácil descomposición, con el fin de proteger, estabilizar y reanimar su actividad química, física y biológica (Rosiah y Kay, 1994; Crespo y Rodríguez, 2000).

1.3.2 Contribución de los abonos orgánicos al incremento de la capacidad productiva de los suelos

La productividad de un agroecosistema está directamente relacionada con la magnitud del flujo, movilización y conservación de los nutrientes, lo que a su vez depende del suministro continuo de materia orgánica y -la promoción de la actividad biológica del suelo (Altieri, 1996).

Las actuales tendencias de la agricultura consideran entre sus tecnologías más avanzadas, a aquéllas que garantizan una máxima explotación del suelo sin afectar su equilibrio biológico; por eso, los sistemas de manejo integrado de la fertilidad del suelo le confieren a la fertilización orgánica una importancia primordial (van der Meersh, 1992; Benzing, 1998).

Ello resulta comprensible, si se tiene en cuenta que gran parte de los desechos que se generan en los propios sistemas agrícolas y su entorno, constituyen fuentes de abono orgánico de inestimable valor. Tales desechos se convierten en valiosos recursos cuya utilización promueve el reciclaje de los nutrientes, reduce la dependencia de insumos externos, mejora las propiedades del suelo y contribuye a disminuir la contaminación ambiental que provocan cuando son vertidos al medio (Roy, 1991; Steiner, 1996).

Según Primavesi (1990), el efecto de los abonos orgánicos en el suelo está asociado a los aspectos fundamentales siguientes:

- Incremento de su contenido de materia orgánica y del aporte, reciclaje y movilización de nutrientes.
- Mejora de sus condiciones físicas, químicas y biológicas.

Ambos resultan de vital importancia para los suelos tropicales, donde las abundantes precipitaciones y elevadas temperaturas unido a prácticas inadecuadas de manejo, han conducido a una disminución acelerada de sus contenidos de materia orgánica y a una drástica reducción de su capacidad productiva (Duran, 1996).

En Cuba, el 69.6% de sus suelos agrícolas poseen muy bajos contenidos de materia orgánica, debido a dos causas fundamentales: una de ellas, de origen natural, provocada por el proceso de oxidación de la materia orgánica por efecto de las altas temperaturas, pluviometría alternante y condiciones físicas de los suelos; la otra, debido a los procesos erosivos inducidos por el hombre. A ello se suma la deficiente aplicación de medidas de mejoramiento orgánico y de otras prácticas como el reciclaje de los residuos de cosechas, el uso de abonos verdes, la rotación de cultivos, etc. (Instituto de Suelos, 2001).

El estiércol vacuno ha sido una de las fuentes de abono orgánico ampliamente utilizado para el mejoramiento de los suelos. Los resultados obtenidos han sido de vital importancia para la ganadería cubana, donde los suelos generalmente son pobres en nutrientes y bajos en materia orgánica y además, han sido sometidos a una explotación intensiva durante muchos años (Portieles, Arteaga y Mojena, 1985).

Estudios realizados por Crespo y Arteaga (1984) donde evaluaron los efectos del estiércol vacuno en las propiedades químicas de un suelo pardo grisáceo, encontraron que su aplicación a razón de 21 t ha^{-1} , incrementó los contenidos de materia orgánica, P_2O_5 y K_2O asimilables y Ca cambiante.

Estos autores plantearon que la incorporación del estiércol a los suelos desempeña un papel decisivo desde el punto de vista económico, puesto que el incremento de la actividad microbiana permite la liberación de ciertos elementos que pueden quedar disponibles para las plantas y mejorar la productividad potencial de los suelos. La materia orgánica que aporta el estiércol contiene apreciable cantidad de N utilizable por mucho tiempo para las plantas.

Portieles et al (1985) observaron efectos similares al utilizar el estiércol vacuno como fuente de abono orgánico para el cultivo de la pangola. Según estos autores, la respuesta del estiércol se debió no sólo al aporte de nutrientes asimilables, sino a la influencia en la solubilidad de los nutrientes del suelo.

Hernández, Arteaga y Muñoz (1989) estudiaron durante tres años la influencia de diferentes dosis de estiércol vacuno en un suelo pardo grisáceo de la región central de Cuba. Encontraron que la materia orgánica del suelo se incrementó hasta cerca de dos unidades porcentuales y aunque los mayores efectos se observaron en los primeros seis meses, el efecto residual perduró por un periodo de dos años.

En cuanto al fósforo asimilable, los autores señalaron que las aplicaciones de estiércol incrementaron los tenores de este elemento en el suelo y tal efecto se mantuvo durante tres años; sin embargo, el potasio sufrió una drástica reducción a partir de los seis meses.

En este sentido, Lalande et al. (1998) observaron que la materia orgánica influyó en la magnitud y velocidad de intercambio del fósforo en el suelo y mejoró su capacidad para acumular formas asimilables para las plantas. Por otra parte, la actividad de los microorganismos propicia la transformación del fósforo orgánico contenido en el suelo y en el abono hacia formas más asimilables para los cultivos (Wen, Bates, Voroney, Wintery Schellembert, 1997).

La mayor parte del potasio contenido en el estiércol bovino se encuentra en forma asimilable (Crespo y Arteaga, 1984). Ello parece explicar el corto efecto residual de este elemento, principalmente en suelos con muy baja capacidad de intercambio de bases, según lo planteado por Wen, Winter, Voroney y Bates (1997).

González et al. (1996) y Cruz, Vieito, González y Seguí (2000), al aplicar estiércol como fuente de abono orgánico, encontraron aumentos en los contenidos de materia orgánica e incrementos en el nitrógeno, fósforo y potasio asimilables del suelo.

El estiércol aporta cantidades importantes de Ca, que incrementan la capacidad de intercambio de bases del suelo y contribuyen a disminuir su acidez (Crespo y Arteaga, 1984; Hernández et al, 1989; Curbelo, Gandarilla, Caballero y Barroso, 1989). Al corregir la acidez del suelo se incrementa la actividad de la biota edáfica y, en consecuencia, muchos elementos quedan adsorbidos en la superficie de las arcillas y otros pasan a formas asimilables para las plantas. Ello prolonga el efecto residual de los abonos orgánicos (Warman y Cooper, 2000).

En general, los estiércoles no poseen una relación C:N elevada y por eso resulta difícil acumular fracciones orgánicas estables en el suelo cuando se emplean como abonos. Sin embargo, su aplicación sistemática tiende

a mantener niveles adecuados de materia orgánica en el suelo, mejora el estado físico y asegura un suministro constante de nutrientes para las plantas (Primavesi, 1990; Fauci y Dick, 1994).

El proceso asociado a la descomposición del estiércol desempeña un papel importante en la mejora de la estabilidad estructural, en la reducción de la compactación superficial y en el incremento de los macroporos del suelo.

En este sentido, Herrick y Lal (1995) observaron que el estiércol incrementó la porosidad total en un 67% y redujo en un 10% la densidad aparente, y obtuvieron los mayores efectos en los primeros 7 cm del perfil del suelo. En la época lluviosa, la capacidad de infiltración del agua aumentó hasta un 240%.

Degens, Sparling y Abott (1986) encontraron incrementos en la longitud de las hifas de los hongos asociados al proceso de mineralización del estiércol y en consecuencia, un aumento de los agregados estables al agua.

Angers (1998) también observó mejoras en la formación y dinámica de los agregados estables al agua en suelos de estructura pesada, con la aplicación de estiércol y otros materiales orgánicos.

El compost y el humus de lombriz o vermicompost, constituyen abonos orgánicos de inestimable valor para el mejoramiento de los suelos. Generalmente se elaboran a partir de los residuos orgánicos biodegradables que se obtienen dentro de las propias fincas o en su entorno y resultan alternativas ecológica y económicamente viables para promover el reciclaje de los nutrientes y mejorar la capacidad productiva de los suelos con el empleo de recursos locales (Ramón, Campa, Ojeda y Vale, 1987; Warman y Cooper, 2000).

El proceso de elaboración del compost es en esencia una reorganización biológica de la materia orgánica, donde la transformación de los residuos en sustancias estables se produce por la acción de los microorganismos. El resultado final de este proceso es la formación de un producto friable, rico en sustancias húmicas y elementos nutritivos asimilables (Park y Cousin, 1995; Mondini, Chiumenti, da Borso, Leita y De Nobili, 1996).

Las adiciones de compost incrementan el contenido de materia orgánica del suelo debido al aporte de sustancias húmicas. De igual modo, incrementan la actividad de la biota del suelo como consecuencia de la gran cantidad de microorganismos presentes en el abono y del aporte de sustrato carbonado (Park y Cousin, 1995).

El compost constituye una fuente estable de N, P, K, Ca, S y microelementos para las plantas y además, mejora el estado físico de los suelos al incrementar la retención de humedad y la estabilidad de los agregados (Mondini et al., 1996; Warman, 1998).

En el proceso de fabricación del compost la mayor parte de los compuestos orgánicos se convierten en sustancias estables. Ello explica por qué su aplicación al suelo no provoca elevadas pérdidas por volatilización y lavado, como ocurre con otros materiales de naturaleza menos estable.

Warman y Cooper (2000) plantearon que la fertilización con gallinaza, la cual puede contener hasta un 89% del N en forma de NH_4 , implica grandes pérdidas de este elemento por volatilización del amoníaco (NH_3) y por lavado de los nitratos. Aunque el fósforo presenta una movilidad muy baja en el suelo, la aplicación de dosis elevadas de gallinaza pueden provocar el lavado de iones ortofosfato. Lo mismo puede ocurrir con el K^+ , si el abono se aplica en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico o con bajos contenidos de materia orgánica.

El proceso de compostaje de la gallinaza permite transformar la materia orgánica en sustancias húmicas y reducir las pérdidas de estos elementos en el suelo (Velvoort, Radcliffe, Cabrera y Latimore, 1998).

El humus de lombriz o vermicompost se obtiene a partir de la transformación de los residuos orgánicos biodegradables por medio de la lombriz de tierra. Este producto es el resultado final de una intensa revolución microbiológica que se produce en el intestino de la lombriz, donde los fragmentos orgánicos, minerales y los propios microorganismos quedan estrechamente mezclados para formar una sustancia inodora y desmenuzable de muy alto valor como fertilizante (Ramón et al., 1987; Aranda, 1992).

El vermicompost, además de su aporte de nutrientes, ejerce un efecto muy favorable en las propiedades del suelo. Edwards y Bates (1992) plantean entre sus funciones más importantes, las siguientes:

- Contribuye a fortalecer el complejo arcillo-húmico, lo que asegura un aumento de la capacidad de intercambio catiónico y en la formación de una adecuada estructura del suelo.
- Constituye una fuente importante de CO_2 , que ayuda a solubilizar algunos minerales del suelo, permitiendo su absorción por las plantas.
- La presencia de húmulos incrementa la porosidad y la capacidad de retención de agua y favorece el desarrollo de las raíces.
- Estimula la vida microbiana del suelo y facilita la multiplicación de las bacterias nitrificantes y otros microorganismos que intervienen en el ciclo biológico de los nutrientes.

Ruiz (1996), al evaluar las propiedades físico-químicas del humus de lombriz encontró que éste posee una capacidad de intercambio de bases que oscila entre 101 y 150 cmol (+) kg⁻¹, cifras muy superiores a las encontradas en los suelos de Cuba. Las sustancias húmicas poseen masas molares relativamente bajas, con grupos funcionales donde predominan los hidróxilos fenólicos sobre los carboxilos.

De acuerdo con lo planteado por este autor, tales características favorecen las relaciones con las arcillas y la formación de una adecuada estructura del suelo. Además, las sustancias húmicas de bajas masas molares poseen una alta composición de carbohidratos, proteínas, aminoácidos y aminoazúcares, que unido al aporte de C, N y otros nutrientes, producen un efecto estimulante en las plantas. Ello explica que dosis relativamente bajas de humus de lombriz, sean capaces de modificar la fertilidad del suelo y producir una elevada respuesta en el desarrollo de las plantas.

Experimentos realizados por Caballero et al. (1998), demostraron que la adición de humus de lombriz a razón de 61 ha⁻¹ aumentó los contenidos de P₂O₅, K₂O y materia orgánica en un suelo pardo con carbonato. González, Vieito, Ramírez y Cruz (1998) observaron también un efecto significativo de las aplicaciones de humus de lombriz en los contenidos de materia orgánica, fósforo asimilable y en la capacidad de intercambio de bases de un suelo ferralítico rojo cultivado de dolichos (*Lablab purpureus*).

Ochoa, Bustamante y Camejo (2000) al utilizar el vermicompost como enmienda orgánica para un suelo ferralítico rojo oscuro dedicado a la producción de cafeto, encontraron aumentos de los contenidos de materia orgánica y N, P y K del suelo y, en consecuencia, un incremento de estos nutrientes en las hojas de las plantas.

1.3.3 Empleo de la fertilización orgánica en la producción de semillas de plantas forrajeras

La producción de semillas de plantas forrajeras, cuando se dispone de un mercado seguro, resulta una actividad rentable, pues el producto alcanza cotizaciones altas. Sin embargo, la preocupación por abaratar los costos, conservar el medio ambiente y poner en manos del productor con insuficientes recursos tecnologías de bajos insumos externos, ha derivado hacia la búsqueda de alternativas menos convencionales, a partir de la utilización de los propios recursos locales (Pérez et al., 2000).

Pérez, Matías, González y Alonso (1997) al recomendar tecnologías para la producción de semillas de gramíneas y leguminosas tropicales, plantearon que debido a que los fertilizantes químicos encarecen los costos de producción y en nuestro país existen dificultades para su aplicación a los pastos, podría ser conveniente el empleo de estiércol vacuno y el humus de lombriz para sustituir parcial o totalmente a la aplicación de aquellos.

Matías (1996) en un experimento realizado sobre suelo Ferralítico Rojo encontró que las aplicaciones de 1.5 t ha⁻¹ de humus de lombriz de 15 t ha⁻¹ de estiércol vacuno sustituyeron a la dosis de fertilizante químico recomendada para la producción de semilla de glycine (*Neonotonia wightii*, cv. Tinaroo). Ambos abonos incrementaron la pureza, la viabilidad y la masa de mil semillas.

Pérez y Suárez (1997) obtuvieron incrementos en la producción de semilla de rhodes (*Chloris gayana*, cv. Callide) y ganancias superiores a 7 500 pesos/ha/año, al aplicar 2 t de humus o 20 t de estiércol/ha, combinados con el 50% de la dosis de N recomendada para este cultivo. Estos resultados demostraron la viabilidad económica del empleo de los abonos orgánicos en condiciones de producción.

González et al. (1998) observaron que la aplicación de humus de lombriz y estiércol vacuno a razón de 4 y 20 t ha⁻¹, respectivamente, aumentaron la masa de mil semillas de dolichos (*Lablab purpureus* cv. Rongai) y su poder germinativo a los seis meses después de la cosecha. Con ambas variantes obtuvieron rendimientos similares a los alcanzados con las dosis de 30, 50 y 75 kg⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O.

González et al. (2000) al evaluar la influencia de la fertilización orgánica en la producción de semilla de Canavalia ensiformis cultivada en suelo Ferralítico Rojo, encontraron que las aplicaciones 4 t de vermicompost y 20 t de estiércol/ha, incrementaron los rendimientos hasta en un 77%, con resultados similares a los observados con la fertilización mineral.

Cruz, Vieito, González y Seguí (2000), en un suelo pardo con carbonatos, constataron un incremento en la producción de semilla de dolichos al aplicar 40 t ha⁻¹ de estiércol vacuno.

En un estudio sobre la contribución de los recursos locales a la producción de semillas de plantas forrajeras realizado en tres condiciones edafoclimáticas, González, Vieito, Ramírez y Cruz (2001) encontraron que las aplicaciones de estiércol vacuno o gallinaza a razón de 20 a 40 t ha⁻¹, o de humus de lombriz en dosis de 2 a 6 t ha⁻¹, produjeron en las especies leguminosas rendimientos similares a los observados con los fertilizantes químicos. En las gramíneas y otras especies, los abonos orgánicos sustituyeron hasta el 60% de las dosis de N y todo el P₂O₅ y K₂O recomendadas para estos cultivos.

La cachaza, un subproducto de la industria azucarera con muy buenas cualidades como fertilizante orgánico, también ha sido empleada en la producción de semillas. Pérez et al (2000) observaron que su aplicación a bancos de semilla de *Albizia lebbbeck*, a razón de 30 t ha⁻¹, produjo durante tres años rendimientos superiores a los alcanzados con los fertilizantes químicos.

El fertilizante químico es uno de los insumos que con mayor facilidad puede reemplazarse con materiales locales en los sistemas de producción de semillas de especies forrajeras. La alta disponibilidad de excretas en los agroecosistemas ganaderos posibilita su aplicación de forma directa o transformada en abonos de alta calidad mediante los procesos de compostaje y de obtención de humus de lombriz a través de la lombricultura (Vieito, González, Ramirez, Guillot, Cárdenas y Arzola, 2001).

Los abonos orgánicos, aunque no poseen contenidos elevados de nutrientes como los fertilizantes, son capaces de suplirlos con su acción directa en el suelo y la planta. Esto permite obtener rendimientos de semilla similares e incluso superiores a los alcanzados con los fertilizantes químicos, manteniendo su calidad (Pérez et al, 2000).

1.4 Rotación de cultivos

La rotación de cultivos es un sistema en el cual sobre un mismo terreno se instalan diferentes cultivos en sucesión recurrente y en una secuencia definida (Altieri, 1996).

El comportamiento exitoso de muchos sistemas de producción depende del diseño de rotaciones de cultivos viables, definidas como aquéllas que mantienen la fertilidad del suelo y contribuyen al control de malezas, plagas y enfermedades. Según Venegas y Siau (1997) una rotación debe incorporar en su diseño los siguientes criterios:

- Equilibrar en el tiempo la acumulación de fertilidad con la extracción que hacen los cultivos.
- Incorporar cultivos de leguminosas.
- Incluir cultivos con diferentes arquitecturas en sus sistemas radicales.
- Separar en el espacio y/o el tiempo los que presentan susceptibilidades similares a plagas y enfermedades.
- Alternar cultivos susceptibles a las malezas con otros supresores de malezas.
- Mantener o incrementar los niveles de materia orgánica del suelo.

Mesa, Casanova y Quintero (1995) subrayaron que el empleo acertado de un esquema de rotación de cultivos permite el cumplimiento de los principios siguientes;

1. Que la secuencia sea lo más segura desde el punto de vista fitosanitario.
2. Que desde el punto de vista nutricional la secuencia sea ventajosa o cuando menos, no perjudicial.
3. Que los cultivos se siembren en las categorías aptas de suelos y en su ecosistema apropiado, de acuerdo con sus requerimientos ecofisiológicos.
4. Que la producción de alimentos energéticos, proteicos y vitamínicos sea máxima, con el mínimo de insumos, tanto en producción por superficie como por hombre, sin deterioro del medio ambiente.

El monocultivo normalmente conduce a la disminución del nivel de producción, en comparación con la producción de la misma especie en rotación. Esta reducción no sólo está relacionada con problemas de fertilidad o plagas, sino con el efecto de las toxinas derivadas del proceso de descomposición de los residuos vegetales del monocultivo (Chaw, 1988, Venegas y Siau, 1997).

La secuencia de los cultivos en la rotación puede ser decisiva, ya que algunos rinden mejor o peor según el cultivo al cual sigan (Altieri, 1996; Morejón, Hernández y Hernández, 2000). Diversos estudios indican que el ordenamiento acertado de los cultivos en un esquema de rotación produce modificaciones microbiológicas y bioquímicas en el suelo, el cual mantiene mayores niveles de biomasa microbiana que aquellos manejados con rotaciones limitadas o con monocultivos. La mejora de las características biológicas del suelo influye favorablemente en el rendimiento de los cultivos incluidos en la rotación (Ajwa y Tabatabai, 1994; Green, Blackmer y Horton, 1995).

Las rotaciones de cultivo, principalmente aquéllas donde se incorporan los residuos de cosechas, también mejoran las características químicas y físicas del suelo. Por eso, un sistema de rotación bien diseñado puede incrementar la productividad de los cultivos que forman parte de la secuencia y al mismo tiempo reducir los requerimientos de energía al disminuir la necesidad de fertilizantes sintéticos (Altieri, 1996; García, 1997; Álvarez et al., 1999).

1.4.1 Papel de las leguminosas en la rotación de cultivos

En término de nutrientes, la deficiencia de N es uno de los problemas más serios que presentan los suelos tropicales. Si a ello se suma el costo creciente de los fertilizantes nitrogenados y la necesidad de conservar los recursos naturales, se puede comprender mejor la importancia de la inclusión de las leguminosas en los sistemas agrícolas (Dala, Strong, Weston y Gaffney, 1991).

Las leguminosas tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en asociación con bacterias del género *Rhizobium*. Se calcula que por esta vía la fijación de N por las plantas leguminosas alcanza el 20% de la cantidad fijada anualmente sobre el planeta, con valores similares a los de la producción mundial de fertilizante nitrogenado (Martínez, 1987; Green y Blackmer, 1995).

Los sistemas de producción basados en el uso de las leguminosas como abonos verdes, cultivos de cobertura, arroke o como componente de la vegetación de barbecho, han arrojado muy buenos resultados, tanto desde el punto de vista agronómico como ecológico (van der Meersch, 1992; García, 1997; Mc Neill, Zhu y Fillery, 1998).

Se conoce que las leguminosas incluidas en los sistemas de rotación de cultivos mejoran las características químicas, físicas y biológicas del suelo. En este sentido, Gichuru (1991) observó un incremento del contenido de C orgánico y N total, después del cultivar *Tephrosia candida* y *Cajanus cajan* como antecedentes culturales del maíz. Cobbina (1992) también constató un incremento del C orgánico y del N del suelo con el uso de *Stylosanthes guianensis*. *Pueraria phaseoloides* y *Centrosema macrocarpum* como cultivos de cobertura en sistemas de barbecho.

Angers (1992) encontró que los agregados estables al agua y el contenido de C orgánico del suelo disminuyeron significativamente durante cinco años de monocultivo de maíz. La inclusión de alfalfa en el esquema de rotación permitió recuperar los niveles de C orgánico y mejorar las propiedades físicas del suelo.

La eficiencia del N aportado por las leguminosas en los sistemas de rotación o asociación de cultivos depende de muchos factores, entre los que se destacan: el volumen de N incorporado, la relación C:N del material, el tiempo que media entre la incorporación y la siembra del cultivo sucesor, así como las condiciones climáticas imperantes (García, 1997).

Estudios realizados por Crespo y Fraga (1997) para evaluar el comportamiento de diferentes leguminosas como abonos verdes para la producción de forraje de maíz, arrojaron que éstas aportaron al suelo hasta 7 t de biomasa y 195 kg de N ha⁻¹, destacándose en este sentido *Canavalia ensiformis*. Los autores atribuyeron la influencia de los abonos verdes en los rendimientos de forraje del maíz al elevado contenido de N y a la baja relación C:N del material incorporado (< 20), lo cual facilitó su rápida descomposición y asimilación por las plantas.

Mandimba (1999) observó que las especies leguminosas *Mucuna pruriens* y *Crotalaria juncea* acumularon cerca de 227 y 108 kg ha⁻¹ de N y su uso como cultivos precedentes del maíz contribuyó a disminuir las dosis de fertilizante nitrogenado.

Alvarez et al. (1999) al evaluar cuatro leguminosas como abonos verdes observaron que éstas incorporaron al suelo entre 2 y 8 t ha⁻¹ de masa seca y hasta 148 kg ha⁻¹ de N, lo cual produjo un efecto positivo en los rendimientos del maíz.

Los estimados de la contribución del N en las rotaciones de cultivo se han realizado en su mayor parte por el valor de sustitución del N procedente del fertilizante, el cual está dado por la cantidad de N inorgánico que puede ser requerido para producir un rendimiento equivalente. Este método supone que el incremento del rendimiento de la planta no leguminosa se debe sólo a la contribución de la leguminosa y que el N del fertilizante y de la leguminosa son igualmente asimilados por los cultivos (García, 1997).

Tales estimados no tienen en cuenta otros beneficios que las leguminosas pueden aportar a la rotación, como son la mejora de las propiedades físicas, el incremento del contenido de materia orgánica del suelo y el aumento de la disponibilidad de agua y otros nutrientes para las plantas. El resultado final conduce a una sobreestimación del papel del N en las rotaciones de cultivo (Mc Neill et al., 1998).

Experimentos realizados con N¹⁵ han indicado tasas más bajas de mineralización y aprovechamiento del N proveniente de los residuos de las leguminosas, que los previamente estimados. No obstante, los niveles de aprovechamiento de este elemento señalan una contribución importante de las leguminosas a la nutrición nitrogenada de los cultivos sucesores (Rivera y Urquiaga, 1995; McNeill et al., 1998; Álvarez et al., 1999).

De acuerdo con Bunch (2000), el concepto de abonos verdes va mucho más allá de incorporar a las leguminosas u otras especies de plantas en el momento de su máxima producción de fitomasa. Muchos sistemas involucran cultivos intercalados o de relieve, o la siembra de leguminosas debajo de árboles frutales; otros promueven la aplicación de los residuos después de haber madurado las plantas, porque los agricultores quieren aprovechar la semilla para la alimentación humana y/o animal, para la venta o para la próxima cosecha. En este caso los residuos son aplicados a la superficie, usualmente in situ, en vez de ser incorporados al suelo.

En este contexto, el autor introduce el concepto de abonos verdes/cultivos de cobertura, definiéndolo como una especie de planta, en muchos casos pero no siempre leguminosa, ya se trate de un árbol, un arbusto, una enredadera o una planta trepadora, que es usada para uno o varios propósitos, uno de los cuales es mantener o aumentar la fertilidad del suelo o controlar las malezas.

El concepto de abono verde/cultivo de cobertura permite abordar con mayor claridad otras funciones importantes de las leguminosas en los sistemas de rotación de cultivos, además de las ya mencionadas. Una de ellas es su contribución al reciclaje de los nutrientes a través de la hojarasca u otros residuos de las plantas y la otra, su capacidad para brindar cobertura y protección al suelo.

Los productores primarios como los árboles, los arbustos y las especies rastreras acumulan en su biomasa la materia sintetizada, que retornará al suelo según su ciclo vegetativo, bajo la forma de exudados radicales y restos organizados, como hojas, ramas, cortezas, flores y frutos, que constituyen la hojarasca. Los nutrientes

contenidos en la hojarasca son después liberados durante el proceso de descomposición, pudiendo de nuevo ser absorbidos por la vegetación (Crespo y Rodríguez, 2000).

Burger y Brasil (1991) al evaluar el reciclaje de los nutrientes de tres leguminosas incluidas en un sistema de cultivo en callejones, encontraron acumulaciones de hojarasca entre 6 y 9 t ha⁻¹, que aportaron hasta 222 y 159 kg ha⁻¹ de N y K₂O, respectivamente. Los nutrientes contribuyeron de modo significativo al incremento de la fertilidad del suelo.

Crespo y Rodríguez (2000) observaron en varias leguminosas tropicales valores de acumulación de hojarasca entre 703 y 1 867 g MS m² por año, en dependencia de la especie. Los autores constataron que a los 210 días la hojarasca desapareció totalmente, reciclando por esta vía cantidades importantes de nutrientes.

Las raíces constituyen una fuente importante de nutrientes en los sistemas de rotación de cultivos. Poco se conoce sobre la cantidad y calidad del material orgánico que se aporta por esta vía y sobre su impacto en el suelo. Sin embargo, algunos estudios indican que la interacción de las raíces con los microorganismos determina en muchos casos los procesos de mineralización e inmovilización de los nutrientes contenidos en ellas y la forma en que son transferidos a los cultivos asociados (van der Meersch, 1992).

La cobertura del suelo que proveen muchas leguminosas puede ser muy importante para la conservación de los suelos. En general, el valor de la cobertura del suelo en el trópico ha sido grandemente subestimado, no obstante conocerse que un buen dosel de cobertura protege al suelo de la influencia directa de los rayos del sol y del impacto de las lluvias y el viento: mejora la capacidad de infiltración y contribuye a conservar la humedad (Bunch, 2000).

Vandermeer, van Noordwijk, Anderson, Ong y Perfecto (1998) plantearon que las leguminosas de cobertura en los agroecosistemas realizan las funciones siguientes:

- Protegen la superficie del suelo contra la erosión y mejoran su capacidad de
- Infiltración del agua.
- Constituyen hábitat y recursos para la biodiversidad asociada (macro, meso, microfauna y controles biológicos de insectos y agentes patógenos)
- Incorporan nitrógeno al sistema mediante la fijación biológica.
- Constituyen transportadores de nutrientes entre una y otra cosechas.
- Contribuyen a mantener la materia orgánica y la fertilidad del suelo.

Experimentos realizados por Yamoah y Mayfield (1990) y Thomas (1992) demostraron que las leguminosas utilizadas como cobertura viva o muerta (arroke) contribuyeron a mejorar la estructura y a conservar la humedad del suelo, evitando además la desecación y la aparición de malezas.

Boonman (1993) observó temperaturas de hasta 42°C en los primeros 2.5 cm de profundidad de un suelo desnudo del trópico. Cuando éste fue cubierto con una capa de 20 cm de arroke o mulch de residuos de leguminosas, la temperatura disminuyó hasta 25°C. El arroke mejoró el contenido de materia orgánica, el pH y la estructura del suelo y contribuyó a mejorar los rendimientos de los cultivos.

Otra de las ventajas de los abonos verdes/cultivos de cobertura consiste en la posibilidad de llegar mediante su uso sistemático, a sistemas de cero labranza. Según Bunch (2000), la experiencia de miles de agricultores en Centro y Suramérica demuestra que después de dos a cuatro años de aplicar fuertes cantidades de materia orgánica proveniente de los abonos verdes/cultivos de cobertura, se puede llegar a sistemas de cero labranza que sostienen niveles muy altos de productividad.

El propio autor señala que el mejoramiento del suelo es un proceso largo que el agricultor no puede notar de forma inmediata hasta bien avanzado el siguiente ciclo de cultivo. Por eso resulta conveniente realizar una fuerte aplicación de estiércol en la primera etapa, para compensar el efecto poco visible de los abonos verdes/cultivos de cobertura durante este período.

1.4.2 Producción de semillas y granos en sistemas de rotación de cultivos

Como se señaló al abordar el tema de la fertilización orgánica, no abundan los estudios relacionados con el empleo de tecnologías de bajos insumos para la producción de semillas de especies forrajeras, debido entre otros factores, a los altos precios que alcanza este producto en el mercado, los cuales justifican la aplicación de tecnologías convencionales, sin afectar la rentabilidad de la producción (Pérez et al., 2000).

No obstante, en los últimos años se ha ido a la búsqueda de alternativas menos convencionales, en el afán de preservar el medio ambiente, disminuir la dependencia de insumos externos y abaratar los costos de producción (Humphreys, 1994).

La producción de semillas y granos en sistemas de rotación de cultivos ha arrojado muy buenos resultados, tanto desde el punto de vista del incremento de la productividad de los cultivos incluidos en la secuencia, como de la disminución de los costos a causa de la reducción del uso de fertilizantes, herbicidas y otros agroquímicos.

Reddy, Soffers y Prine (1986) observaron que los rendimientos de grano del maíz y el trigo se incrementaron hasta en un 70% en áreas previamente cultivadas por *Vigna radiata*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria spectabilis* y *Mucuna deeringiana*. La aplicación de fertilizante nitrogenado no incrementó la eficiencia del uso del N proveniente de los cultivos antecedentes.

Mulongoy y Kang (1986) obtuvieron rendimientos de semilla de maíz superiores a 3 t ha^{-1} con la aplicación de 50 kg ha^{-1} de N, en parcelas que fueron cultivadas de *Psophocarpus palustris*, *Centrosema pubescens* y *Mucuna pruriens*.

Al utilizar *Tephrosia candida* y *Cajanus cajan* como antecedentes culturales del maíz, Gichuru (1991) observó incrementos en la producción de granos de maíz de hasta un 67% y correlaciones altamente significativas entre los contenidos de C orgánico y N total del suelo y los rendimientos de grano y biomasa del cultivo.

Por su parte, Tarawaii (1991), al comparar los rendimientos del maíz obtenidos en parcelas ocupadas anteriormente por banco de semillas de *Stylosanthes* con los alcanzados en áreas de barbecho, constató que en el primer caso las mayores producciones se obtuvieron con la aplicación del 50% de la dosis de fertilizante nitrogenado recomendada para el cultivo.

Otros trabajos realizados por Russell y Fillery (1996) y Me Neill et al. (1998) demostraron que *Trifolium subterraneum* y *Lupinus albus*, entre otras especies leguminosas, pueden suministrar cantidades importantes de N para cubrir hasta un 50% de las necesidades de este elemento para la producción de granos de trigo.

Bunch (2000) planteó que los agricultores del norte de Honduras, utilizando cero labranza, nada de fertilizantes químicos y frijol terciopelo (*M. pruriens*) como antecedente cultural del maíz, mantienen cosechas de grano y semilla superiores a las 2.5 y 2.0 t ha^{-1} , respectivamente.

Estudios llevados a cabo en Cuba por Álvarez et al. (1999) con el empleo de cuatro especies de leguminosas como antecedentes culturales del maíz, demostraron que éstas incrementaron los rendimientos de grano entre 1 y 2.4 t ha^{-1} , con relación al control y produjeron resultados similares o superiores a los alcanzados con la fertilización mineral en dependencia de la especie. El coeficiente de aprovechamiento del N de las leguminosas varió entre 25 y 89%, destacándose en este sentido, *Mucuna sp.*

Cruz, González, Vieito y Arzola (2000) evaluaron los efectos de *Canavalia ensiformis* y *Lablab purpureus* como cultivos precedentes del sorgo (*Sorghum bicolor*). Ambas leguminosas redujeron en un 50% la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para la producción de semilla de este cultivo.

González, Vieito, Clavel y Arzola (2000) constataron en áreas que fueron cultivadas de *Pueraria phaseoloides* y *Neonotonia wightii* durante dos años, que sólo con la aplicación de 30 y 60 kg ha^{-1} de N, respectivamente, se obtuvieron rendimientos de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor*) similares a los alcanzados con la dosis de 90 kg ha^{-1} de N en el área que previamente se mantuvo en barbecho. La masa de mil semillas y el porcentaje de germinación a los seis meses después de la cosecha fueron mayores en las parcelas precedidas por las leguminosas.

De acuerdo con van der Meersch (1992), Green y Blackmen (1995) y Bunch (2000), los nutrientes provistos por los cultivos precedentes, especialmente el N, deben estar disponibles justo en el momento en que los cultivos sucesores los necesitan. De manera que la producción de granos o semillas en los sistemas de rotación dependerá de la sincronización de ambos procesos, entre otros factores. En muchos casos esta sincronización es muy difícil de conseguir y, por tanto, se reduce la eficiencia del sistema.

No obstante, los resultados anteriormente descritos permiten asegurar la viabilidad de los sistemas de rotación de cultivos para la producción de granos y semillas de las especies forrajeras.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Condiciones experimentales

Para alcanzar los objetivos propuestos se realizaron tres experimentos de campo sobre suelo Ferralítico Rojo típico (Hernández, Pérez Jiménez, Bosch y Rivero, 1994), en áreas del Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes (IIPF), en el municipio de Bauta, provincia de La Habana. Las características químicas del suelo y el comportamiento de las precipitaciones durante el período de ejecución de los experimentos se presentan en las tablas 1 y 2.

2.2 Procedimiento Experimental

2.2.1 Experimento 1. Efectos de la fertilización orgánica en las características químicas y físicas del suelo y el cultivo de la canavalia.

Se estudiaron siete tratamientos (testigo absoluto, aplicaciones de 2, 4 y 6 t ha⁻¹ de humus de lombriz y de 10, 20 y 30 t ha⁻¹ de estiércol vacuno) distribuidos en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Las parcelas ocuparon una superficie de 33.6 m² y un área de cálculo de 25.2 m².

La preparación del suelo se realizó con dos pases de arado (rotura y cruce) y una labor de grada después de cada aradura. La canavalia se sembró en el mes de septiembre de 1998, a una distancia de 70 cm entre surcos y 30 cm entre plantas, con un gasto de 45 kg ha⁻¹ de semilla pura germinable (SPG).

El estiércol vacuno se esparció sobre la superficie de la parcela y se incorporó al suelo con la última labor de grada. El humus de lombriz se aplicó en el fondo del surco al momento de la siembra.

La cosecha se realizó de forma manual entre los meses de febrero y abril de 1999, a medida que fueron madurando las legumbres.

2.2.2 Experimento 2. Efecto residual de la fertilización orgánica e influencia del arroyo en el cultivo del maíz.

En este experimento se evaluaron cinco tratamientos distribuidos en un diseño de parcelas divididas con cuatro réplicas. En las parcelas principales se aplicaron los tratamientos de fertilización orgánica (4 t ha⁻¹ de humus de lombriz y 20 t ha⁻¹ de estiércol vacuno) más un testigo absoluto; en las subparcelas se aplicaron las variantes con arroyo y sin arroyo.

Las parcelas principales tenían una superficie de 84 m² y las subparcelas de 42 m², con un área de cálculo de 67.2 y 25.2 m², respectivamente.

En el mes de septiembre de 1999 se sembró la canavalia. La preparación del suelo, aplicación de los abonos orgánicos y el marco de siembra fue similar al experimento 1

Después de la cosecha de las últimas legumbres maduras (abril del 2000) se realizó la siega manual de las plantas. El material segado se depositó sobre la superficie de las subparcelas, excepto en aquellas correspondientes a la variante sin arroyo, que quedaron con el suelo descubierto.

Con las primeras lluvias del mes de mayo se sembró el maíz (variedad Francisco) a un marco de 70 cm entre surcos y 40 cm entre plantas, con un gasto de 15 kg ha⁻¹ de SPG. Para la siembra no se hicieron labores de preparación del suelo, sólo se abrieron los surcos sembrados anteriormente de canavalia con un arado de tracción animal.

La cosecha se realizó a los 122 días después de la siembra, con un 20% de humedad del grano.

2.2.3 Experimento 3. Sustitución de los fertilizantes químicos por los abonos orgánicos para la producción de semillas en una secuencia de cultivos canavalia-maíz.

En este experimento se evaluaron ocho tratamientos distribuidos en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Los tratamientos fueron: testigo absoluto, 100% de la dosis de fertilizante químico recomendada para cada cultivo. 4 t ha⁻¹ de humus de lombriz y 20 t ha⁻¹ de estiércol vacuno, solos y combinados con el 25 y el 50% de la dosis de fertilizante químico.

El experimento se inició en septiembre del 2000 con la siembra de la canavalia y concluyó en septiembre de 2001, con la cosecha del maíz. Los abonos orgánicos se aplicaron una sola vez, al Inicio del experimento y los fertilizantes químicos a cada cultivo,

Las dosis de fertilizante químico aplicadas fueron 50 y 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O para la canavalia y 120, 60 y 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O para el maíz, utilizándose como portadoras a la urea, el superfosfato triple y el cloruro de potasio.

En ambos cultivos los fertilizantes fosfórico y potásico se colocaron en el fondo del surco al momento de la siembra. En el caso del maíz se aplicó en ese momento el 50% de la fertilización nitrogenada y el resto a los 30 días, junto con el aporque.

La preparación del suelo, aplicación de los abonos orgánicos, el marco de siembra y la cosecha se realizó del mismo modo que los experimentos anteriores. Después de la cosecha de la canavalia. Los residuos que quedaron en el campo se emplearon en el arroteo del maíz, de modo que Todas las parcelas quedaron cubiertas,

En todos los experimentos, las semillas de canavalia fueron inoculadas con una cepa efectiva de *Rhizobium* momentos antes de la siembra Los cultivos se mantuvieron libres de plantas indeseables mediante limpiezas manuales periódicas.

El estiércol vacuno que se utilizó como abonó orgánico tuvo un tiempo de maduración de seis meses. El humus de lombriz se obtuvo a partir de la cría artificial de la especie "roja californiana" (*Eisenia foetida*), de acuerdo con lo recomendado en el Instructivo Técnico para el Desarrollo de la Lombricultura en Cuba (Ramón, Campa, Ojeda y Vale, 1987), en un sustrato compuesto por una mezcla de estiércol vacuno y residuos de cosechas en una proporción 3:1.

2.3 Evaluaciones realizadas

Análisis del suelo: En los experimentos 1 y 2 se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm, a los 90 y 60 días después de la siembra de la canavalia y el maíz, respectivamente De cada parcela se extrajo una muestra compuesta por cinco submuestras individuales tomadas en zig-zag. Se realizaron análisis químico y físico del suelo según los métodos siguientes:

Determinaciones químicas

pH Potenciometría - Relación suelo - agua 1:2.5

Materia orgánica. Walkley y Black

P asimilable. Oniani

Cationes intercambiables- Maslova

Determinaciones físicas*

Densidad aparente Cilindros cortantes

Humedad natural Gravimétrico

Densidad real de la fase sólida- Picnométrico

Porosidad- Por cálculos

*Según las normas ramales 371, 372 y 373 (Ministerio de la Agricultura, 1980)

- Conteo y masa de nódulos de la raíz principal de la canavalia: En el experimento 1 se tomaron cinco plantas por tratamiento a los 90 días después de la siembra y se les determinó el número, la masa seca y la coloración de los nódulos de la raíz principal (Navas y Marín, 1985).
- Contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en el residuo de cosecha de la canavalia. En los experimentos 1 y 2 se tomaron Tres muestras por parcela de los residuos que quedaron en el campo después de la cosecha de la canavalia. A cada muestra se Le determinó el contenido de masa seca (MS) y macronutrientes, según los métodos de la AOAC (1965),
- Velocidad de descomposición y contenido de N del residuo utilizado como arroteo En el experimento 2, después de segado el residuo de cosecha de la canavalia y colocado en la superficie del suelo, se marcó un área de 1.4 m² en el centro de cada parcela y se pesó mensualmente todo el material depositado en la misma. La velocidad de descomposición se calculó por la diferencia de masa entre una y otra pesada. Mensualmente se tornaron muestras de 200 g de residuo para la determinación de MS y N.
- Rendimiento de semilla pura y masa de mil semillas En ambos cultivos se determinó, a partir de los granos cosechados, secados y beneficiados con una máquina de aire zaranda.
- Componentes del rendimiento Tanto en la canavalia como en el maíz se marcaron diez plantas/parcela. En el primer caso se tomó la longitud y el número de legumbres/planta, el número de semillas/legumbre y la masa de semillas/planta, En el segundo, la longitud y el diámetro medio de la mazorca.
- Germinación de la semilla. Se realizó después de la cosecha y a los seis meses, de acuerdo con las reglas del ISTA (1985). La semilla se conservó en bolsas de polipropileno a temperatura ambiente.

2.4 Análisis estadístico

Los datos se procesaron mediante el análisis de varianza y la prueba de rango múltiple de Duncan. También se realizaron análisis de regresión entre las variables del suelo y los rendimientos de la canavalia y el maíz. Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico STATICS para Windows.

2.5 Valoración económica

Para la valoración económica se calcularon los gastos adicionales generados por la aplicación de los fertilizantes químicos y los abonos orgánicos a la secuencia de cultivos canavalia-maíz y los ingresos producidos por la venta de las semillas. También se valoró el ahorro de insumos externos (fertilizantes químicos) a partir del uso de recursos locales (estiércol vacuno y humus de lombriz). Se utilizaron los indicadores siguientes:

Gastos adicionales	Valor
Aplicación del fertilizante químico a la canavalia	48.56 pesos ha ⁻¹
Aplicación del fertilizante químico al maíz	131.59 “ ”
Producción y aplicación del humus de lombriz	17.76 “ ”
Recolección y aplicación del estiércol vacuno	3.67 “ ”
Cosecha y beneficio del incremento de la producción de semilla de canavalia	0.10 pesos kg ¹
Cosecha y beneficio del Incremento de la producción de semilla de maíz	0.15 ” ”
Ingresos adicionales	
Venta de la semilla de canavalia	3.05 pesos kg ⁻¹
Venta de la semilla de maíz	4.75 “ ”

Los costos de aplicación de los fertilizantes químicos incluyeron los gastos erogados por la compra de éstos. Para ello se tomaron los precios en USD de los fertilizantes adquiridos por el Ministerio del Azúcar en 1999, con una tasa de cambio en relación con la moneda nacional de 1 x 1.

CAPITULO III. Efectos de La fertilización orgánica en las características químicas y físicas del suelo y en el cultivo de la canavalia

3.1 Resultados

Los abonos orgánicos influyeron de modo significativo en las características químicas del suelo (tabla 4). Los mayores valores de pH y los contenidos más altos de fósforo asimilable y potasio intercambiable se obtuvieron con las aplicaciones de 20 y 30 t ha⁻¹ de estiércol vacuno y 6 t ha⁻¹ de humus de lombriz. La dosis de 4 t ha⁻¹ de humus produjo en estas variables, efectos similares a los alcanzados con la aplicación de 10 t ha⁻¹ de estiércol.

Todos los tratamientos fertilizados con los abonos orgánicos, excepto el que recibió la dosis más baja de humus de lombriz, incrementaron de modo similar los contenidos de materia orgánica del suelo.

Los mayores contenidos de calcio y magnesio intercambiables se observaron con las aplicaciones de las dosis más altas de estiércol, las dosis de 4 y 6 t ha⁻¹ de humus de lombriz mostraron valores similares a los observados con la aplicación de 10 t ha⁻¹ de estiércol.

Se pudo constatar que las mayores modificaciones de las características químicas del suelo se produjeron con las aplicaciones de 20 y 30 t ha⁻¹ de estiércol vacuno y 6 t ha⁻¹ de humus de lombriz. La dosis de 2 t ha⁻¹ de humus mostró valores similares al testigo en todas las variables medidas,

Las características físicas del suelo también se modificaron con las aplicaciones de los abonos orgánicos (tabla 5) Los tratamientos abonados con estiércol y con las dosis de 4 y 6 t ha⁻¹ de humus, mostraron los niveles más altos de humedad natural. Cuando el humus se aplicó a razón de 2 t ha⁻¹, el valor de humedad superó al testigo, pero fue inferior a los tratamientos donde se aplicaron las dosis más altas de ambos abonos.

De igual modo la densidad aparente disminuyó por el efecto de los abonos orgánicos y aunque no se observaron diferencias significativas entre el testigo y las aplicaciones de 2 y 4 t ha⁻¹ de humus, cuando se comparan los valores absolutos de estos tratamientos, la densidad aparente tiende a disminuir debido a la influencia del humus. Los mayores efectos se produjeron con el estiércol vacuno y con la dosis de 6 t ha⁻¹ de humus, cuyos valores fueron significativamente inferiores al testigo.

La porosidad total y de aireación se incrementaron a medida que aumentaron las dosis de los abonos orgánicos. En el primer caso se observaron diferencias significativas entre el testigo y las dosis de 6 t ha⁻¹ de humus y 20 y 30 t ha⁻¹ de estiércol; en el segundo, todos los tratamientos abonados mostraron diferencias con el testigo, aunque los mayores efectos también se observaron con las aplicaciones de 6 t ha⁻¹ de humus y las dosis más altas de estiércol.

Al evaluar el efecto de los tratamientos en la nodulación de la canavalia (tabla 6), se encontró que la mayor cantidad y masa de nódulos en la raíz principal correspondió a las aplicaciones de 4 y 6 t ha⁻¹ de humus de lombriz y 10 t ha⁻¹ de estiércol vacuno, seguidos por el tratamiento fertilizado con 2 t ha⁻¹ de humus. La aplicación de 20 t ha⁻¹ de estiércol tuvo un comportamiento similar al testigo, sin embargo, el número más bajo de nódulos y la menor masa de éstos se observaron donde se aplicó el estiércol a razón de 30 t ha⁻¹.

En cuanto a los rendimientos de la canavalia y sus componentes, se observó que los tratamientos no influyeron ni en la longitud ni en el número de semillas por legumbres (tabla 7), La masa de mil semillas se incrementó por la aplicación de los abonos orgánicos, y aunque no se hallaron diferencias entre las dosis y las fuentes, en todos los casos se observaron valores significativamente superiores al testigo.

El número de legumbres y la masa de semillas por planta, así como el rendimiento de semilla pura tuvieron un comportamiento muy similar, los mayores valores de estas variables se alcanzaron con las aplicaciones de 4 y 6 t ha⁻¹ de humus y 20 y 30 t ha⁻¹ de estiércol. En estos tratamientos, cada planta emitió alrededor de seis legumbres cuyas masas de semillas superaron los 128 g, y el rendimiento de semilla pura osciló entre 3 750 y 3 900 kg ha⁻¹. Las dosis de 2 t ha⁻¹ de humus y 10 t ha⁻¹ de estiércol produjeron más legumbres y semillas por planta y mayores rendimientos que el testigo, pero no superaron a los tratamientos donde se aplicaron los niveles más altos de ambos abonos.

Se encontró una alta relación entre el número de legumbres/ planta, la masa de semillas/planta y el rendimiento de semilla pura, que quedó expresada en la siguiente ecuación:

$$y = -166.82 + 647.97 x_1 + 18.14 x_2 \quad R^2 = 0.96$$

Donde:

y : rendimiento de semilla pura (kg ha⁻¹).

x₁ : número de legumbres / planta

x₂ : masa de semillas / planta (g).

En la tabla 8 se presentan los datos de la cantidad de biomasa aérea que quedó en el campo después de la cosecha de las legumbres y la extracción de nutrientes que se realizó por esta vía. Las mayores producciones de biomasa se observaron en los tratamientos que fueron abonados con 4 y 6 t ha⁻¹ de humus y 20 y 30 t ha⁻¹ de estiércol, cuyos rendimientos de MS oscilaron entre 3 744 y 4 153 kg ha⁻¹. Las dosis inferiores produjeron más biomasa que el testigo, pero sus rendimientos fueron significativamente inferiores a aquellos.

El N fue el nutriente extraído en mayor cantidad por la biomasa aérea, seguido del Ca, el K, el Mg y el P. Las cantidades extraídas de cada nutriente estuvieron en función de los tratamientos, ya que estas fueron mayores donde se aplicaron las dosis más altas de humus y estiércol. Estos tratamientos acumularon en la biomasa hasta 116, 105, 51, 25 y 15 kg ha⁻¹ de N, Ca, K, Mg y P, respectivamente.

Al evaluar la relación entre los rendimientos de la canavalia y las variables del suelo, se obtuvieron ecuaciones de regresión de tendencia cúbica con altos índices de determinación, entre el rendimiento de semilla pura y materia seca, y los contenidos de materia orgánica, P asimilable, la densidad aparente y la porosidad de aireación, según se muestra en las figuras 1 y 2.

Los contenidos de fósforo de la biomasa aérea mostraron una estrecha relación con los rendimientos (fig. 3). En ambos casos se obtuvieron ecuaciones de regresión de Tendencia cúbica, con valores de R³ de 0.90 para el rendimiento de semilla pura y de 0.87 para el rendimiento de materia seca.

3.2 Discusión

El efecto del estiércol vacuno y el humus de lombriz y en las características químicas del suelo parece estar relacionado con el aporte de nutrientes y con la calidad de la materia orgánica de ambas fuentes.

De acuerdo con la caracterización química del estiércol utilizado como fuente de abono orgánico en este trabajo (tabla 3), se deduce que su aplicación incorporó al suelo cantidades importantes de materia orgánica y nutrientes, que sin dudas produjeron un Impacto favorable en su fertilidad.

Crespo y Arteaga (1984) plantearon que el estiércol vacuno está constituido en su mayor parte por materia orgánica, macro y microelementos que le confieren buenas cualidades como mejorador de las propiedades químicas y físicas de los suelos y como portador de cantidades importantes de nutrimentos para las plantas.

Por su parte, el humus de lombriz es el resultado final de un complejo proceso biológico donde los residuos son transformados en sustancias estables por la acción de los microorganismos presentes en el propio residuo y en el intestino de la lombriz. Tales sustancias poseen grupos funcionales que participan en los procesos de adsorción e intercambio de nutrientes con la solución del suelo y favorecen su fertilidad (Edwards y Bate, 1992; Ruiz, 1996). Ello, unido al aporte de materia orgánica y elementos minerales y a su intensa actividad microbiana, pudiera explicar el hecho de que dosis relativamente bajas hayan incrementado de modo significativo los contenidos de nutrientes del suelo.

Según Rivero (1999), la contribución de la materia orgánica a la disponibilidad de nutrimentos en el suelo puede enfocarse básicamente desde dos puntos de vista. El primero y más evidente es que ésta constituye una fuente directa de macro y micronutrientes a través de la mineralización, el segundo se refiere a su participación en los procesos que mejoran (a disponibilidad de éstos).

Los productos que se originan con la degradación de los residuos orgánicos sirven de fuente energética para los macro y microorganismos que habitan en el suelo. Los ciclos del N, S, P y otros elementos están dirigidos por diferentes comunidades de macro y microorganismos que a la vez ejercen su influencia en la estructura física, disponibilidad de nutrientes y en los procesos de transformación de la materia orgánica del suelo (Gregorich et al., 1996; Crespo y Rodríguez, 2000).

Estudios realizados por Crespo y Arteaga (1984), González et al. (1996) y Cruz et al. (2000) demostraron que las aplicaciones de estiércol incrementaron los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio asimilables y calcio intercambiable del suelo. Los efectos del estiércol dependieron de la dosis aplicada, el tipo de suelo y el cultivo abonado.

Caballero et al. (1998) y González et al. (1998) observaron que las aplicaciones de humus de lombriz en dosis que oscilaron entre 2 y 6 t ha⁻¹, aumentaron los contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio asimilables y la capacidad de intercambio de bases del suelo.

La influencia de los abonos orgánicos en las características físicas del suelo también parece estar estrechamente ligada al aporte y calidad de la materia orgánica aplicada. Se conoce que la materia orgánica ejerce una gran influencia en la estructura, capacidad de retención de agua, velocidad de infiltración y en la estabilidad de los agregados del suelo (García, 1997; Rivero, 1999).

El aumento de los niveles de humedad natural observado en el experimento puede atribuirse al incremento de la capacidad de retención de agua del suelo a causa de la aplicación de los abonos orgánicos. Emerson et al. (1997) plantearon que el acentuado carácter hidrofílico de la materia orgánica, la cual es capaz de retener hasta 20 veces su peso en agua, contribuye a mantener niveles adecuados de humedad y evita la desecación del suelo.

La disminución de la densidad aparente y el aumento de la porosidad pueden estar relacionados con la mejora de la estructura del suelo, debido a la adición de la materia orgánica. Herrick y Lal (1995) y Angers et al. (1997) observaron una relación inversa entre la densidad aparente del suelo y su contenido de materia orgánica. Los autores apuntan que una buena agregación del suelo provocada por el incremento en el contenido de materia orgánica, modifica la porosidad del mismo y, en consecuencia, la densidad aparente, lo que contribuye a mantener niveles de humedad y aireación adecuados para el desarrollo de los cultivos.

Herrick y Lal (1995) observaron que el estiércol Incrementó la porosidad total en un 67% y redujo la densidad aparente en un 10%; en la época lluviosa la capacidad de infiltración del agua en el suelo aumentó hasta en un 240%. Angers (1998) obtuvo resultados similares al aplicar diferentes materiales orgánicos a un suelo de estructura pesada,

La formación de agregados estables al agua y de una adecuada estructura del suelo pudiera también estar asociada al incremento de la actividad microbiana provocada por la aplicación de los abonos orgánicos. En este sentido, Degens et al. (1996) encontraron incrementos en la longitud de las hifas de los hongos asociados al proceso de mineralización de los abonos orgánicos y, en consecuencia, un aumento de los agregados estables al agua.

En cuanto al humus de lombriz, debe tenerse en cuenta que además de su aporte de materia orgánica, la presencia de sustancias húmicas pudo haber contribuido a mejorar el estado físico del suelo. Ruiz (1996), al estudiar las propiedades físico-químicas del humus de lombriz observó que en los grupos funcionales de las sustancias húmicas predominan los hidróxilo-fenólicos sobre los carboxilos, lo que favorece su relación con las arcillas e induce a la formación de una adecuada estructura del suelo.

Edwards y Bate (1992) plantearon que el humus de lombriz contribuye a fortalecer el complejo arcillo - húmico e influye directamente en el aumento de la capacidad de intercambio catiónico y en la formación de una adecuada estructura del suelo.

En relación con el efecto de los abonos orgánicos en la nodulación de la canavalia, se observó que las aplicaciones de humus de lombriz favorecieron el incremento del número y la masa de los nódulos de la raíz principal. Este comportamiento puede estar asociado al aporte de energía (C fácilmente asimilable) y niveles adecuados de nutrientes, los cuales estimulan la simbiosis leguminosa-rhizobium. El humus de lombriz aporta compuestos hidrosolubles de bajo peso molecular que constituyen una fuente de energía fácilmente asimilable para activar la microbiota del suelo y favorecer la fijación de N (Neves y Rumjanek, 1992).

Por otra parte, se ha demostrado que los mecanismos de fijación biológica del N dependen en gran medida de la existencia de niveles adecuados de macro y micronutrientes en el suelo (Tang, 1986).

Sin embargo, el efecto depresivo producido por las altas dosis de estiércol puede atribuirse a las elevadas cantidades de N que se aportaron al suelo por esta vía; de acuerdo con su composición, las aplicaciones de 20 y 30 t ha⁻¹ de estiércol incorporaron al suelo, 218 y 327 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

En este sentido, Marín y Viera (1990) y Navas y Marín (1995) observaron un menor número y peso de los nódulos en las raíces de la canavalia, con aplicaciones de 70 o más kg ha⁻¹ de N, lo que según los autores, indica un efecto inhibitorio de este elemento en el desarrollo de los nódulos y en la fijación simbiótica de N.

Las elevadas dosis de estiércol pudieron también introducir en el suelo una alta población de microorganismos que compiten con el rhizobium por el mismo conjunto de sustratos energéticos. Algunos actinomicetos, hongos y bacterias que se encuentran en el estiércol pueden reducir la nodulación mediante la formación de sustancias antagónicas, que impiden una adecuada colonización de las raíces por parte de las bacterias fijadoras de N (Martínez, 1986).

Los rendimientos de semilla y materia seca obtenidos con las aplicaciones de humus y estiércol demuestran el efecto positivo que ejercieron ambas fuentes en el cultivo de la canavalia. De acuerdo con los resultados expuestos, las aplicaciones de 4 t ha⁻¹ de humus de lombriz y 20 t ha⁻¹ de estiércol vacuno resultaron las más adecuadas, ya que ambas incrementaron los rendimientos de semilla pura y materia seca en un 82 y 43%, con relación al testigo. Las dosis más altas produjeron rendimientos similares a los tratamientos mencionados.

El efecto de los abonos orgánicos en el número de legumbres y la masa de mil semillas/planta influyó significativamente en el rendimiento de semilla pura. Ello lo confirma la ecuación de regresión con alto valor de R² que se obtuvo entre ambos componentes y el rendimiento de semilla.

La respuesta de la canavalia a los abonos orgánicos estuvo asociada a los efectos que éstos produjeron en el suelo. Las altas relaciones obtenidas entre los rendimientos y los contenidos de materia orgánica, fósforo asimilable, densidad aparente y la porosidad de aireación del suelo, las cuales quedaron expresadas en ecuaciones polinomiales de tercer grado con elevados índices de determinación, confirman lo planteado.

El incremento que produjeron los abonos orgánicos en el contenido de fósforo asimilable del suelo, tuvo un peso importante en el aumento de los rendimientos de la canavalia. Esto quedó demostrado por las ecuaciones de regresión con altos valores de R², que se obtuvieron entre los contenidos de fósforo asimilable y los rendimientos de semilla pura y materia seca, y entre las concentraciones de fósforo en el tejido vegetal y los rendimientos. Tal respuesta era de esperarse, si se tiene en cuenta el bajo contenido inicial de este elemento en el suelo.

Lynd y Ansman (1993) plantearon que aunque la canavalia puede desarrollarse bajo diferentes condiciones edáficas, cuando se cultiva en suelos degradados y de baja fertilidad requiere de un suministro adecuado de nutrimentos para mejorar su productividad. Según Kessler et al. (1993), en tales condiciones los desórdenes nutricionales más comunes son la deficiencia de P y, en menor medida, los de S y K. Por su parte, Marín (1996) observó que la cantidad de elementos acumulados en la biomasa es muy sensible al suministro de nutrimentos en el suelo.

La estrecha relación entre los contenidos de materia orgánica y los rendimientos puede atribuirse a la capacidad de las sustancias orgánicas para crear en el suelo condiciones químicas, físicas y biológicas favorables para el desarrollo de los cultivos (Mondini et al., 1996; Rivero, 1999). De igual modo podrían explicarse las relaciones de la densidad aparente y la porosidad de aireación con los rendimientos, ya que la disminución de aquella y el aumento de ésta facilitan el crecimiento de las raíces, las cuales pueden explorar un mayor volumen de suelo, mejorar su accesibilidad a los nutrientes y favorecer una adecuada relación aire-agua en la rizosfera (Rivero y Paolini, 1994; Angers, 1998).

La masa de semillas por planta puede ser un indicador de las condiciones en que se desarrolló el cultivo. Según Lynd y Ansman (1993) y Navas y Marín (1995), una producción de semillas por planta mayor de 100 g - como se obtuvo en los tratamientos fertilizados con dosis no menores de 4 t ha de humus y 20 t ha⁻¹ de estiércol - sugiere la existencia de niveles de fertilidad en el suelo adecuados para el desarrollo del cultivo.

En este experimento se destacan los efectos del humus de lombriz y el estiércol vacuno en la fertilidad del suelo y en el cultivo de la canavalia. Sin embargo, no menos importante resulta el hecho de que los residuos que quedan en el campo después de la cosecha de las legumbres, pueden retornar al suelo cantidades importantes de nutrientes. Ello, unido al posible efecto residual de los abonos orgánicos, pudiera contribuir a la reducción del uso de los fertilizantes químicos en los cultivos subsiguientes.

Marín (1996) enfatiza la importancia del material que queda en el campo luego de la cosecha de granos de canavalia, para su empleo como abono. En este sentido estimó aportes de hasta 94 kg ha⁻¹ de N, cifra ligeramente inferior a las encontradas en este experimento, en las parcelas que fueron abonadas con 4 y 6 t ha⁻¹ de humus y 20 y 301 ha⁻¹ de estiércol.

CAPITULO IV. Efecto residual de la fertilización orgánica e influencia del arroyo en el cultivo del maíz

4.1 Resultados

En la tabla 9 se presentan las cantidades de biomasa y nutrientes que aportaron los residuos de canavalia al cultivo del maíz, después de la cosecha de las legumbres. Al igual que en el experimento anterior, las aplicaciones de 41 ha⁻¹ de humus y 201 ha⁻¹ de estiércol incrementaron de modo significativo la producción de materia seca y la cantidad de nutrientes extraídos con la biomasa. Ambos tratamientos tuvieron un comportamiento similar.

Los abonos orgánicos produjeron como promedio, 1 293 kg ha⁻¹ de MS por encima del testigo. De igual modo incrementaron entre 4 y 27 kg ha⁻¹ las cantidades de nutrientes extraídos con la biomasa, donde la mayor cantidad correspondió al N, seguidos en orden decreciente por el Ca, el K, el P y el Mg.

La velocidad de descomposición de los residuos de canavalia aplicados al maíz a manera de arroyo, se presenta en la figura 4. La curva correspondiente a los residuos producidos bajo la aplicación de los abonos orgánicos representa los valores promedio del humus y el estiércol, ya que ambos tratamientos tuvieron un comportamiento similar.

Los residuos producidos en el tratamiento testigo mostraron una alta velocidad de descomposición en los primeros 60 días; durante ese período, el 65% de la biomasa se había incorporado al suelo. Entre los 60 y 90 días se produce una inflexión en la curva que denota una disminución de la velocidad de descomposición. En este rango de tiempo, entre el 65 y el 93% de la biomasa se incorporó al suelo y al cabo de los 150 días, el 98% del material había desaparecido.

En los tratamientos donde se aplicaron los abonos orgánicos se observó una menor velocidad de descomposición, ya que el 60% de los residuos se incorporó al suelo en un lapso de 90 días. A partir de este momento la tasa de descomposición fue aún más lenta y a los 150 días, el 17% del material se mantenía sobre las parcelas.

La tabla 10 muestra la influencia de los abonos orgánicos y el arroyo en las características químicas del suelo. Se observó que a pesar de que los abonos orgánicos se aplicaron con la siembra de la canavalia, su efecto trascendió al suelo cultivado de maíz.

Con la aplicación del humus de lombriz, los contenidos de materia orgánica, fósforo asimilable y potasio intercambiable fueron significativamente superiores al testigo; sin embargo, los mayores valores de estas variables se alcanzaron con el estiércol, que además incrementó el pH y los tenores de Ca y Mg intercambiables. El arroyo aumentó los contenidos de materia orgánica, fósforo asimilable y calcio y potasio intercambiables del suelo-

Los abonos orgánicos y el arroyo también afectaron las características físicas del suelo (tabla 11). El humus y el estiércol produjeron efectos similares, ambos incrementaron el nivel de humedad natural, la porosidad total y de aireación y disminuyeron significativamente la densidad aparente. El suelo cubierto con el arroyo mostró una mayor humedad natural y porosidad y una menor densidad aparente que aquel que no recibió los beneficios de esta labor.

El humus y el estiércol aumentaron de modo similar la longitud de la mazorca y la masa de mil semillas. Ambos tratamientos incrementaron en un 28% el rendimiento de semilla pura, en relación con el testigo (tabla 12). El arroyo también produjo aumentos significativos en la longitud de la mazorca y la masa de mil semillas, e incrementó en un 19% los rendimientos de semilla pura, con respecto al tratamiento donde el suelo se mantuvo descubierto.

El rendimiento de semilla pura mostró una alta dependencia de la longitud de la mazorca y la masa de mil semillas, lo cual quedó expresado en la siguiente ecuación de regresión:

$$y = 321.26 + 113.92 x_1 + 0.76 x_2 \quad R^2 = 0.90$$

Donde:

y : rendimiento de semilla pura (kg ha⁻¹).

X₁: longitud de la mazorca (cm).

X₂: masa de mil semillas (g).

La figura 5 muestra la dinámica del N liberado por los residuos de la cosecha de la canavalia y el absorbido por el cultivo del maíz. Las cantidades de este elemento que aportó el arroyo fueron aumentando en el transcurso del tiempo y a los 150 días, los residuos procedentes del testigo y de los tratamientos fertilizados con los abonos orgánicos habían liberado 70 y 85 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

En los primeros 40 días del cultivo del maíz (70 días de colocado el arroyo) el N absorbido por las plantas fue menor que el aportado por los residuos; a partir de este momento la absorción de N superó a la cantidad de este elemento que fue liberando el arroyo. Al finalizar el ciclo del cultivo, el N liberado por los residuos representó el 52 y 43%, respectivamente, del N absorbido por el maíz en los tratamientos con abonos orgánicos y sin ellos.

Las relaciones entre las variables del suelo y los rendimientos de semilla del maíz se presentan en la figura 6. La materia orgánica, el fósforo asimilable y el potasio intercambiable mostraron ecuaciones de regresión de tendencia cuadrática y elevados ajustes (valores de R^2 entre 0.80 y 0.91) con el rendimiento de semilla pura del maíz.

Resultados similares se obtuvieron entre la densidad aparente, la porosidad de aireación y el rendimiento de semilla pura, cuyas relaciones también se ajustaron a ecuaciones de regresión de tendencia cuadrática, con índices de determinación (R^2) de 0.96 y 0.95, respectivamente.

4.2 Discusión

Resulta interesante destacar el efecto residual de los abonos orgánicos ya que aunque éstos se aplicaron al momento de la siembra de la canavalia, aún influyeron de modo significativo en las características químicas y físicas del suelo y en el cultivo del maíz.

La dosis de aplicación parece haber influido en el efecto residual que ambos abonos produjeron en las características químicas del suelo. El estiércol se aplicó a una a una dosis más alta y por tanto, aportó mayor cantidad de materia orgánica y nutrientes que el humus de lombriz. No obstante, el humus tuvo un efecto residual significativo en los contenidos de materia orgánica, fósforo asimilable y potasio intercambiable.

Algunos estudios indican que el efecto residual del estiércol depende de la dosis de aplicación, el tipo de suelo y las características del cultivo abonado. Powell (1986) observó que dosis entre 30 y 40 t ha⁻¹ suelen tener una influencia de 1 a 1,5 años en los tenores de materia orgánica, nitrógeno total y en la capacidad de intercambio de bases de suelos desaturados y de baja fertilidad. El efecto puede prolongarse hasta tres años en suelos con mayores niveles de fertilidad.

Hernández et al. (1989) encontraron que la aplicación de 20 t ha⁻¹ de estiércol vacuno a un suelo Pardo Grisáceo cultivado de pastos incrementó los contenidos de materia orgánica y fósforo asimilable por un periodo de 2 y 3 años, respectivamente.

En cuanto a las características físicas del suelo, ambos tratamientos tuvieron un comportamiento similar. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las sustancias húmicas presentes en el humus de lombriz pueden formar complejos estables con las arcillas y, en consecuencia, mejorar el estado físico de los suelos con la adición de dosis relativamente bajas (Edwards y Bate, 1992; Ruiz, 1996).

El empleo de los residuos de la canavalia en el arroyo del maíz tuvo también un impacto significativo en las características químicas y físicas del suelo. Al analizarse el efecto del arroyo deben tenerse en cuenta dos aspectos: el aporte de nutrientes que va produciendo el residuo a medida que transcurre su descomposición y el efecto de la cobertura en las propiedades del suelo.

Con relación al primero, se constató que las cantidades de materia orgánica y nutrientes que se incorporaron al suelo con la descomposición del residuo, no resultaron despreciables (tabla 9). Además, el proceso de descomposición del residuo ocurrió con relativa rapidez. Según se observó en la figura 4, apenas transcurridos los primeros 60 días de colocado el arroyo, más de un 40% del material se había reciclado y al cabo de los 150 días, sólo quedaba el 2% del residuo sobre la parcela testigo y el 17% sobre las parcelas fertilizadas con los abonos orgánicos.

La diferencia en la tasa de descomposición del residuo producido en el tratamiento testigo y en los tratamientos fertilizados con los abonos orgánicos puede atribuirse a la mayor cantidad de biomasa que se produjo en estos últimos y a la presencia de un mayor volumen de material lignificado. Esto también se hace evidente en las inflexiones de las curvas que describen la descomposición de los residuos, donde las mayores pendientes se observan en la primera etapa, debido a la rápida descomposición de las hojas, cuyos tejidos poseen una relación C:N más baja y menores contenidos de lignina que los tallos (García, 1997).

Broersma et al. (2000) plantearon que la relación C:N y la cantidad de lignina de los residuos orgánicos ejercen una marcada influencia en su velocidad de descomposición. Cuanto mayor es la relación C:N y la cantidad de lignina y celulosa, más lenta es la descomposición de los residuos, los cuales tienden a acumularse en el suelo de forma parcialmente descompuesta.

La cobertura del suelo constituye un factor no menos importante para mejorar su fertilidad. De acuerdo con estudios realizados en este sentido, se conoce que la cobertura contribuye a crear un microclima que regula la temperatura y la humedad y favorece los procesos biológicos. Ello mejora la disponibilidad de nutrientes y estimula la formación de una adecuada estructura en las capas superiores del suelo (Angers, 1992; Vandermeer et al., 1998).

Uno de los aspectos más importantes en los sistemas de rotación de cultivos que incluyen leguminosas, es su contribución a la nutrición nitrogenada de los cultivos sucesores. Su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico eleva la eficiencia de la utilización de este elemento por los demás cultivos y hace al sistema menos dependiente de los fertilizantes nitrogenados sintéticos (García, 1997; McNeill et al., 1998).

Capítulo IV. Efecto residual de la fertilización orgánica e influencia del arroyo en el cultivo del maíz

Al evaluar la dinámica del nitrógeno liberado por los residuos de la cosecha de la canavalia y el absorbido por el cultivo del maíz se observó que en el primer mes no hubo sincronización entre ambos procesos, ya que entre la colocación del arroyo y la siembra del maíz transcurrieron 30 días, debido a que el experimento se desarrolló en condiciones de secano y hubo que esperar la llegada de las lluvias para efectuar la siembra. Durante ese período los residuos habían liberado hasta 23 kg ha⁻¹ de N que no fueron aprovechados por las plantas.

No obstante, en los primeros 40 días del cultivo del maíz, el nitrógeno aportado por los residuos fue mayor que el extraído por las plantas; después éstas incrementan la demanda de N y si bien los residuos no pueden compensar tal demanda, al final del ciclo del cultivo se observó que por esta vía pudo restituirse hasta el 45% del N absorbido por el maíz-

Debe aclararse que en este experimento no se valoró el aporte de N de los residuos provenientes del sistema radical de las plantas de canavalia; por tanto, se puede presumir que la contribución del N proveniente de la leguminosa al cultivo del maíz haya sido mayor que las cantidades señaladas.

Experimentos realizados con nitrógeno marcado indican una contribución importante de los residuos de las leguminosas a la nutrición nitrogenada de los cultivos sucesores (Rivera y Urquiaga, 1995; Álvarez et al., 1999). Pero la eficiencia de este proceso depende, entre otros factores, de la sincronización entre el aporte de N y la demanda del cultivo posterior (van der Meersh, 1992; Bunch, 2000).

Los abonos orgánicos y el arroyo tuvieron un impacto positivo en el cultivo del maíz. Ambos factores incrementaron la longitud de la mazorca, la masa de mil semillas y en consecuencia, la producción de semilla, cuyos rendimientos mostraron una alta dependencia de estas variables ($R^2 = 0.90$).

El efecto de los abonos orgánicos y el arroyo en el maíz también quedó demostrado con las ecuaciones de regresión obtenidas entre las variables del suelo y el rendimiento de semilla pura.

La dependencia de los rendimientos con los contenidos de materia orgánica, fósforo asimilable y potasio intercambiable, las cuales quedaron expresadas en ecuaciones de regresión de segundo orden con altos coeficientes de determinación, es además un reflejo de las exigencias nutricionales del maíz. Según datos de la FAO (1994) el maíz absorbe alrededor de 3 kg de N, 1-5 kg de P₂O₅ y 3 kg de K₂O para producir 100 kg de grano. Esta alta extracción de nutrientes indica que la magnitud de la producción dependerá de su disponibilidad en el suelo.

Ello se confirma con los estudios de fertilización realizados por González et al. (1992), Araújo y Almeyda (1993) y Marrero et al. (2001), donde se demuestra la importancia de mantener niveles adecuados de nutrientes en el suelo para obtener altas producciones de granos y biomasa en el cultivo del maíz.

El rendimiento de semilla pura también mostró altas relaciones con la densidad aparente y la porosidad de aireación, lo que corrobora lo planteado por Ingram y Swift (1999) y Freitas et al. (2001) al señalar que el maíz requiere de suelos de buena estructura, bien aireados y con una alta capacidad de retención de humedad.

En este sentido se demostró que el efecto residual de los abonos orgánicos y el empleo de los residuos de la cosecha de canavalia como arroyo influye positivamente en la fertilidad del suelo y en la producción de semilla del maíz. Estos resultados evidencian la posibilidad de aplicar un sistema de fertilización para la producción de semillas de ambos cultivos, basado en el uso de los abonos orgánicos y en el aprovechamiento de los residuos de cosecha de la leguminosa, con el cual se pueda sustituir al menos parcialmente, a los fertilizantes químicos.

CAPITULO V. Sustitución de los fertilizantes químicos por los abonos orgánicos para la producción de semillas de canavalia y maíz en una secuencia de cultivos

5.1 Resultados

La tabla 13 muestra la influencia de la combinación de los abonos orgánicos y los fertilizantes químicos en la masa de mil semillas y los rendimientos de semilla pura de la canavalia y el maíz.

En la canavalia se observó un incremento significativo de la masa de mil semillas en todos los tratamientos fertilizados, con los cuales se obtuvieron valores similares entre sí, independientemente de las fuentes de fertilizantes, las dosis y las combinaciones de éstos-

Los abonos orgánicos solos produjeron rendimientos de semilla pura de canavalia, significativamente superiores al testigo y similares al alcanzado con el 100% de la dosis de los fertilizantes químicos. Las combinaciones del humus de lombriz con los fertilizantes no incrementaron los rendimientos más allá del alcanzado con el humus solo; más bien se produjo un ligero efecto depresivo donde éste se combinó con el 50% de la dosis del fertilizante mineral.

En los tratamientos abonados con estiércol, la aplicación del 25% del fertilizante químico mostró cierta tendencia a disminuir los rendimientos de la canavalia y cuando éste se combinó con el 50% de la dosis de fertilizante mineral, se observó un efecto depresivo.

En el maíz, los mayores valores de la masa de mil semillas se obtuvieron en los tratamientos donde se aplicó la dosis completa de fertilizantes químicos y donde éstos se combinaron con los abonos orgánicos. El estiércol y el humus de lombriz solos produjeron valores superiores al testigo, pero inferiores a los tratamientos antes mencionados.

Los mayores rendimientos de semilla pura de maíz se obtuvieron en los tratamientos abonados con el humus y el estiércol más el 50 y el 25%, respectivamente, de la dosis de fertilizantes químicos, los cuales no tuvieron diferencias con la aplicación del 100% de fertilizante mineral. Donde sólo se aplicó el estiércol y el humus, o el humus se combinó con el 25% de la dosis de fertilizante, los rendimientos superaron al testigo, pero fueron inferiores a los alcanzados en los tratamientos antes señalados.

Los tratamientos no tuvieron efectos en la capacidad de germinación de las semillas de ambos cultivos, en ninguno de los momentos evaluados (tabla 14).

5.2 Discusión

Los resultados obtenidos en este experimento corroboran el efecto positivo de los abonos orgánicos en la secuencia de cultivos canavalia-maíz.

En la canavalia se observó que la aplicación de 4 t ha⁻¹ de humus de lombriz o de 20 t ha⁻¹ de estiércol vacuno fueron suficientes para producir rendimientos de semilla similares al alcanzado con las dosis de fertilizantes químicos recomendadas para el cultivo (50 y 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O, respectivamente). La combinación de los abonos orgánicos con los fertilizantes químicos resultó innecesaria.

El aporte de nutrientes y la mejora del estado físico del suelo que produjeron los abonos orgánicos, unido a una buena nodulación garantizada por la inoculación de la semilla con una cepa efectiva de *Rhizobium*, al parecer fueron suficientes para garantizar un óptimo desarrollo de la canavalia. Ello podría explicar la no necesidad de complementar los abonos orgánicos con los fertilizantes químicos.

Según Pérez et al. (1997) para la mayoría de las leguminosas forrajeras resulta suficiente la aplicación de 20-30 t ha⁻¹ de estiércol o de 3 t ha⁻¹ de humus de lombriz para obtener buenos rendimientos de semilla, aunque recomiendan profundizar los estudios en este sentido.

Matías (1996) encontró que las aplicaciones de 1.5 t ha⁻¹ de humus y 15 t ha⁻¹ de estiércol sustituyeron totalmente a las dosis de fertilizante mineral recomendadas para la glycine (*Neonotonia wightii*).

El aumento de la masa de mil semillas en los tratamientos abonados estuvo relacionado con el óptimo desarrollo de las plantas. Se conoce que una buena nutrición garantiza un buen crecimiento de la canavalia y producciones de más de 100 g de semillas por planta, con masas individuales de alrededor de 1,5 g (Lynd y Ansmann, 1993).

El efecto residual de los abonos orgánicos y el reciclaje de los residuos de la cosecha de canavalia tuvieron un impacto positivo en el rendimiento de semilla de maíz. Esto no sólo quedó corroborado en el experimento anterior, sino que lo confirma el hecho de que la aplicación de dosis parciales de fertilizantes químicos a parcelas que se abonaron previamente con humus de lombriz o estiércol vacuno, hayan producido rendimientos similares al alcanzado con el 100% del fertilizante mineral.

Cuando se usó el humus de lombriz como abono orgánico para la secuencia de cultivos, la aplicación del 50% de la dosis de fertilizantes químicos resultó suficiente para obtener rendimientos adecuados de semilla de maíz; cuando se utilizó el estiércol, sólo fue necesario aplicar el 25% del fertilizante químico para obtener resultados similares.

La necesidad de complementar los abonos orgánicos con los fertilizantes químicos puede deberse a la elevada extracción de nutrientes que hace el cultivo (González et al, 1992; Marrero et al., 2001). Si bien los abonos orgánicos y los residuos de cosecha mejoraron las condiciones del suelo y la productividad del cultivo con relación al control, éstos por si solos no pudieron alcanzar los rendimientos obtenidos con la aplicación de la dosis completa de los fertilizantes químicos.

Pero lo más importante es que a partir del empleo de recursos locales, se logra reducir al menos parcialmente, el uso de los fertilizantes químicos cuyo déficit ha afectado la producción de semillas de especies forrajeras en los últimos años. Los estudios sobre la influencia de los abonos orgánicos en la producción de forraje, grano y semilla de maíz indican que éstos mejoran la productividad del cultivo y contribuyen a reducir el uso de los fertilizantes minerales (Powell, 1986; Ortiz et al., 2001).

Por otra parte, los sistemas de rotación de cultivos que utilizan leguminosas como antecedentes culturales del maíz han demostrado su viabilidad para recuperar la capacidad productiva de los suelos y disminuir el uso de las altas dosis de fertilizantes (fundamentalmente nitrogenados) que usualmente requiere el cultivo (Tarawail, 1991; Martins y Laene, 1998).

Con respecto a la calidad de las semillas de la canavalia y el maíz, éstas mostraron una alta capacidad de germinación después de la cosecha. A los seis meses, los porcentajes de germinación disminuyeron en ambas especies, independientemente de los tratamientos.

Las semillas recién cosechadas de la canavalia y el maíz suelen tener una alta capacidad de germinación, al menos que estos cultivos se hayan desarrollado bajo condiciones climáticas muy adversas o con severas imitaciones de nutrimentos (FAO, 1994; Navas y Marín, 1995). Cuando tales condiciones no constituyen factores limitantes, la calidad de la semilla depende más bien del tratamiento post cosecha (FAO, 1994).

La reducción de la capacidad de germinación de la semilla a los seis meses después de la cosecha puede deberse a las condiciones de almacenamiento, ya que aunque éstas se guardaron con contenidos adecuados de humedad (15% para la canavalia y 14% para el maíz) durante todo ese tiempo estuvieron sometidas a las altas temperaturas del ambiente. En el maíz se ha demostrado que la duración de la semilla se duplica cuando la temperatura de almacenamiento y su contenido de humedad se reducen en 5°C y 1%, respectivamente (FAO, 1994).

A través de los resultados expuestos, se pudo constatar la posibilidad de establecer un sistema de fertilización para la producción de semillas de canavalia y maíz en una secuencia de cultivos, mediante el uso de los abonos orgánicos, el reciclaje de los residuos de cosecha de la canavalia y la aplicación de dosis reducidas de fertilizantes químicos al maíz.

Con la aplicación de 4 t ha⁻¹ de humus de lombriz o de 20 t ha⁻¹ de estiércol vacuno se puede sustituir todo el fertilizante químico recomendado para la producción de semilla de canavalia. El efecto residual de los abonos orgánicos y los beneficios que se obtienen al utilizar los residuos de cosecha de la canavalia como arropo para el maíz, permite sustituir el 50 y el 25% de las dosis de fertilizantes químicos recomendados para este cultivo, en las parcelas abonadas con humus y estiércol, respectivamente.

CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

La tabla 15 muestra la eficiencia económica de los tratamientos donde se aplicaron el humus y el estiércol con el 50 y el 25%, respectivamente, de los fertilizantes químicos para la secuencia de cultivos canavalia-maíz. Estos se comparan con el tratamiento donde se aplicaron los fertilizantes químicos solamente.

Cuando se aplicó el 100% de los fertilizantes químicos, los gastos por este concepto fueron de 180.15 pesos ha^{-1} , pero con los abonos orgánicos las dosis de fertilizantes se redujeron en un 50 y 25% y, de hecho, los gastos también disminuyeron a 68.50 y 32.90 pesos ha^{-1} , respectivamente. Ello contribuyó a reducir los gastos totales erogados en ambos tratamientos.

En los tratamientos abonados con el humus y el estiércol, la reducción de los gastos adicionales y el incremento de la producción contribuyeron a alcanzar las mayores ganancias netas, las cuales superaron en 330 y 229 pesos ha^{-1} , respectivamente, al tratamiento donde sólo se aplicaron los fertilizantes químicos. En ambos casos, cada peso invertido en la fertilización orgánica y mineral retornó entre 22 y 23 pesos de producción adicional de semillas de canavalia y maíz, cifras ligeramente superiores a la obtenida con los fertilizantes químicos solamente.

Además del efecto económico positivo que produjeron los abonos orgánicos, debe destacarse el hecho de que con el empleo de recursos locales de bajo costo, como el humus de lombriz y el estiércol vacuno, se pudo reducir en un 100% la dosis de fertilizante recomendada para la canavalia y en un 50 ó 25%, la recomendada para el maíz. Ello significó un ahorro de 513 y 554 kg ha^{-1} de este insumo, que no siempre está disponible en las unidades y cuya adquisición resulta difícil debido a sus altos precios en el mercado internacional.

El estiércol se puede recolectar en las propias unidades o su entorno y el humus se puede obtener mediante la crianza artificial de las lombrices a partir de residuos orgánicos biodegradables generados en los predios agrícolas.

En este trabajo el uso del humus y el estiércol como abonos orgánicos no implicó grandes gastos (71 y 74 pesos ha^{-1} , respectivamente). Estos fueron menores que los producidos por la aplicación del 100% del fertilizante químico a cada cultivo.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye que:

1. El humus de lombriz y el estiércol vacuno modificaron las características químicas y físicas del suelo y tuvieron un impacto positivo en la producción de semilla y biomasa de la canavalia.
2. La respuesta de la canavalia a la aplicación de los abonos orgánicos estuvo asociada al aumento de los contenidos de materia orgánica y fósforo asimilable, al incremento de la porosidad de aireación y a la disminución de la densidad aparente del suelo.
3. El efecto residual de los abonos orgánicos y el empleo de los residuos de la cosecha de canavalia como arpe influyeron favorablemente en la producción de semilla de maíz.
4. Se encontraron altas relaciones entre los rendimientos de semilla pura del maíz y las modificaciones producidas por los abonos orgánicos y el arpe en los contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio asimilables, en la densidad aparente y la porosidad de aireación del suelo.
5. Las aplicaciones de 4 t ha^{-1} de humus de lombriz o de 20 t ha^{-1} de estiércol vacuno sustituyeron totalmente a los fertilizantes químicos en el cultivo de la canavalia y en un 50 y 75%, respectivamente a las dosis recomendadas para el maíz.
6. Los abonos orgánicos disminuyeron los gastos de aplicación de los fertilizantes y produjeron ganancias netas superiores a las alcanzadas con la fertilización química.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar 4 t ha⁻¹ de humus de lombriz ó 20 t ha⁻¹ de estiércol vacuno, en sustitución de las dosis de fertilizante químico recomendada para la producción de semilla de canavalia, en condiciones similares a las que se realizó este estudio.
2. Realizar siembras de maíz post-cosecha de canavalia, que en condiciones similares a las anteriores reducen en 50 y 75%, respectivamente, la dosis de fertilizante químico recomendada para los bancos de semilla de maíz,
3. Evaluar por un tiempo más prolongado el efecto residual de los abonos orgánicos y la influencia de los residuos de cosechas en los cultivos sucesores.
4. Estudiar el impacto de la asociación temporal de otras especies forrajeras en las propiedades del suelo y la producción de semillas.
5. Profundizar en el estudio de los mecanismos de transferencia del N de los residuos de cosechas a los cultivos sucesores.
6. Evaluar el efecto de los abonos orgánicos y el arroyo en la actividad biológica del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ajwa, H.A. and Tabatabai, M.A. 1994. Decomposition of different organic materials in soil. *Biol. and Fert. Of Soil* 18:175
- Altieri, M. 1996. Bases agroecológicas para una agricultura sustentable. En: *Agroecología y Agricultura sostenible*. 1. CLADES-CEAS-ISCAH, La Habana p 122-133
- Álvarez, Maité ; García. Margarita y Treto, Eolia. 1999. Eficiencia del nitrógeno incorporado con los abonos verdes en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales* 20:49
- Angers, D.A. 1992. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfalfa. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 56:1244
- Angers, D.A. 1998. Water-stable aggregation of Quebec silty clay soils: some factors controlling its dynamics. *Soil and Till. Res.* 47:91.
- Angers, D.A., Recours, S. and Aita, C. 1997. Fate of carbon and nitrogen in water-stable aggregates during decomposition of ^{13}C and ^{15}N labeled wheat straw in situ. *Europ. J. of Soil Sci.* 48:295
- AOAC 1965. Official methods of analysis. Washington, D.C.
- Aranda, E. 1992. Manejo de las lombrices para la producción de abono orgánico de pulpa de café. Memoria XV Simposio de Cafeicultura Latinoamericana. IICA, Xalapa, México p. 35-40
- Araújo, A.P. y Almeyda, D.L. 1993. Adubacao verde asociada a fosfato de rocha na cultura do milho. *Pesquisa Agrop. Bras.* 28:245
- Aymard, G. y Cuello, Nidia 1993. Catálogo y adiciones a las especies neotropicales del género *Canavalia*. En *Canavalia ensiformis* (L.) DC. Producción, procesamiento y utilización en la alimentación animal, Eds. R.E. Vargas, A. León y A. Escobar. Ed. Futuro, San Cristóbal p. 45-64
- Benzing, A. 1998. Suelos pobres requieren materia orgánica. *LEISA* 13:14
- Biart, Marilyn, González, W., Beltrán, R. y García, T. 1996. Efecto de la biotierra en el cultivo del maíz (*Zea mays* L) tierno. IV Jornada Científica del Instituto de Suelos y II Taller Nacional sobre Desertificación, Resúmenes p 39
- Boonman, J.G. 1993. From shifting cultivation to crop-grass rotations. En: *East Africa's grasses and fodders: ecology and husbandry*. Dordrecht/NL. Kluwer Acad. Pub. P. 65-85
- Broersma, K., Juma, N.Q. and Robertson, J.A. 2000. Plant residue and cropping systems effects on N dynamics in a gray luvisolic soil. *Can. J. of Soil Sci.*, 80:227
- Bunch, R. 2000. El uso de los abonos verdes/cultivos de cobertura alrededor del mundo. Boletín "Cosecha" No, 2, Tegucigalpa
- Buresch, R.J., Jama, B. And Swinkels, R.A. 1997. Agronomic and economic evaluation of organic and inorganic sources of phosphorus in western Kenya *Agronomy J.* 89:597
- Burger, D. And Brasil, E.C. 1991. Production of organic fertilizers in the alley cropping systems. En: *Studies on the utilization and conservation of soil in the eastern Amazone region*. GTZ, Germany p. 217-236
- Caballero, R., Gandarilla, J.E. y Pérez, Denia 1998. Uso del humus de lombriz en la fertilización de las hortalizas en huertos intensivos. XI Seminario Científico del INCA. Programa y resúmenes p. 210
- Cáceres, O., González, E. y Delgado, R. 1995, *Canavalia ensiformis* una leguminosa forrajera promisorio para la agricultura tropical. *Pastos y Forrajes* 18-107
- Cairo, P. 1997. Manejo de los suelos en una agricultura orgánica. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Conferencias p. 20-24
- Carmona, A., Gómez, Aura y Seidd, Dinah. 1993 Uso de pruebas bioquímicas para el estudio de problemas nutricionales de *Canavalia ensiformis*. En: *Canavalia ensiformis* (L) DC. Producción, procesamiento y utilización en la alimentación animal. Eds. R.E. Vargas, A. León y A. Escobar. Ed. Futuro, San Cristóbal p. 65-76
- Casanova, E. 1996. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela Caracas 218 p.
- Chaw, C.H. 1988. Effects of pasture-forest Interaction in Taiwan. En: *Global perspectives on Agroecology and sustainable agricultural systems- Proc Of the 6th International Scientific Conference of IFOAM*. Univ. of California p. 43-51
- Ciño, Delia M.; Díaz, María F., Lon-Wo, Esmeralda y González, Acela .1999. Evaluación económica de las harinas de granos crudos' de leguminosas y su potencial de uso en la alimentación avícola. *Rev. cubana Cienc. Agric.* 33:127
- Cobbina, J. 1992. Herbage yield and soil fertility restoration potential of some tropical forage legumes. En: *Biological nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture*. Ed, Wiley and Sons, UK. p. 455-462
- Crespo, G. y Arteaga, O, 1984. Utilización del estiércol vacuno para la producción de forraje. IDICT-ISCAH, La Habana, 35 p.
- Crespo, G. y Fraga, S- 1997, Comparación de abonos verdes para la producción de forraje de maíz (*Zea mays*) en un suelo Ferralítico Rojo. *Rev. cubana de Cienc. agric.* 31:155

- Crespo, G. y Rodríguez, Idalmis 2000. El reciclado de los nutrientes en el sistema suelo-planta-animal. Una contribución al conocimiento científico en Cuba. Instituto de Ciencia Animal, La Habana 72 p.
- Cruz, Madelín; González, P.J., Vieito, E. y Arzola, J. 2000. Efectos de los abonos verdes y la fertilización nitrogenada en la producción de semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*). XII Seminario Científico del INCA. Programa y resúmenes p. 128
- Cruz, Madelín, Vieito, E., González, P. y Seguí, P. 2000. Evaluación del estiércol vacuno en la producción de semilla de dolichos (*Lablab purpureus*) y su efecto sobre las propiedades químicas del suelo. Ecosistema Ganadero 1:24
- Curbelo, R. Gandarilla, J., Caballero, R. y Barroso, R. 1989. Corrección de la acidez y abonado de un suelo Ferralítico dedicado al cultivo del pasto estrella. 1er Congreso de la Soc. Cubana de la Ciencia del Suelo. Programa y resúmenes. p. 138
- Dalal, R.C., Strong, W.M., Weston, E.J. and Gaffney, J. 1991. Sustaining multiple production systems. 2. Soil fertility decline and restoration of cropping land in subtropical Queensland, Tropical Grassland 25:173
- Degens, B.P., Sparling, G.P. and Abott, LK. 1996. Increasing the length of hyphae in a sandy soil increases the amount of water-stable aggregates. Applied Soil Ecol. 3:149
- Díaz, María; González, Acela ; Curbelo, F., Cruz, Ana M. y Mora, C. 1997. Evolución de leguminosas de alto tenor proteico en la obtención de concentrados de proteína foliar (CPF), Rev. cubana Cienc. agríc. 31:183
- Dueñas, Graciela, Sánchez, Támara; Gómez, L, Muñiz, O. y López, Teresa 1998. Reciclaje de N en una sucesión frijol-maíz. frijol. XI Seminario Científico del INCA. Programa y resúmenes p 202
- Durán, J.L. 1996. Los suelos tropicales y su manejo ecológico. En: Agroecología y Agricultura Sostenible, 2, CLADES-CEAS-ISCAH, La Habana p, 64-73
- Edwards, C.A. and Bate, J.E. 1992. The use of earthworm in environmental management. Soil Biol. Biochem. 24:1683
- Emerson, W.W., Foster, R.C., Tisdall, J.M. and Weissman, D. 1994. Carbon content and bulk density of an irrigated Natrixeralf in relation to tree growth and orchard management. Aust. J. of Soil Res. 32:929
- FAO 1994. Aspectos económicos de la producción de maíz. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. Roma. 177 p.
- Fauci, M.F. and Dick, R.P- 1994. Soil microbial dynamics: short and long term effects of inorganic and organic nitrogen. Soil Sci. Soc. of Am. J. 58:801
- Fokin, A.O. 1994. On the importance of organic matter for natural and agricultural ecosystems functioning, Pochvovedenie 4.40
- Funes, F.; Yañez, S. y Vieito, E.L. 2000. Programa nacional de semillas de pastos para la ganadería. II Taller Internacional "La Semilla en la Ganadería Tropical". EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba
- Freitas, J. De, Cantarella, H., Sawazaki, E. y Mello, O, 2001. Reposta de genotipos de milho ao nitrogenio associado a espcamento e a populacao, XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programa y resúmenes. Boletín No. 4 p. 148
- García, Margarita 1997. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre suelos ferralíticos rojos en las condiciones de Cuba. Tesis en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Agrícolas ISCAH, INCA, La Habana
- Gichuru, M.P. 1991. Residual effects of natural bush, *Cajanus cajan* and *Tephrosia candida* on the productivity of an acid soil in southeastern Nigeria. Develop. Plant and Soil Sci. 45:417
- González, P.J.; Vieito, E., Ramírez, J. y Cruz, Madelín. 2000. Influencia de la fertilización orgánica en la producción de forraje y semilla de *Canavalia ensiformis* (L) DC. Ecosistema Ganadero 1:33
- González, P.J., Vieito, E., Ramírez, J., Cepero, Bárbara y Clavel, N. 2001. Variación de las propiedades físico-químicas del suelo y su relación con la producción de semillas de dos leguminosas forrajeras. Pastos y Forrajes 24:19
- González, S.A.; Eguarte, V.J.A. y Galina, M.A. 1996. Aplicación y efecto residual del estiércol en la producción y calidad del buffel (*Cenchrus ciliaris* cv Texas - 4464) en el trópico seco. Pastos y Forrajes 19:146
- González, W., Battie, J., Dueñas, Graciela y López, T. 1992. Aprovechamiento del ¹⁵N- urea por el maíz (*Zea mays*) en un suelo Ferralítico Rojo compactado. Agrot. de Cuba 24:37
- Green, C.J. and Blackmer, A.M. 1995. Residue decomposition effects on nitrogen availability to corn following corn or soybean. Soil Sci. Soc. of Am. J. 59:1065
- Green, C.J.; Blackmer, A.M. and Horton, R. 1995. Nitrogen effects on conservation of carbon during corn residue decomposition in soil, Soil Sci. Soc. of Am. J. 59:453
- Gregorich, E. G , Ellert, B. H , Drury, C.H and Liang, B.C 1996 Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residues carbon storage. Soil Sci. Soc. of Am, J. 60:472
- Guzmán, J De J.; Marrero, Virginia y González, W 1988 Algunas consideraciones agroquímicas en el cultivo del maíz III Curso Nacional de Posgrado de maíz y sorgo Ministerio de la Agricultura

- Hagedorn, F., Steiner, K.G., Sehayange, L. and Zech, W., 1997. Effects on rainfall patterns on nitrogen mineralization and leaching in a green manure experiment in South Rwanda Plant and Soil 195:365
- Hernández, Annia; Heydrick, Mayra, Fernández, Ana I, Hernández, Ana N. y Santander, J 1998. Caracterización de cepas de *Pseudomonas cepacia* y *P. fluorescens* aisladas en la rizosfera del maíz (*Zea mays*). XI Seminario Científico del INCA Programa y resúmenes p. 187
- Hernández, A., Pérez Jiménez, J.M., Bosch, D y Rivero, L 1994. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Inst de Suelos MINAG La Habana, 66 p.
- Hernández, Consuelo, Arteaga, O. y Muñoz, P. 1989. Efecto de la aplicación del estiércol vacuno sobre un suelo Pardo Grisáceo. Cienc y Técn. en la Agric. Suelos y Agroquímica 12:13
- Herrick, J.E. and Lal, R 1995. Soil physical properties changes during dung decomposition in a tropical pasture Soil Sci Soc. of Am J 59:908
- Humphreys, L.R. 1994. Tropical forages: their role in sustainable agriculture. Ed. Harlow, Essex. England 127 p.
- Ingram, J.A. and Swift, M.J 1999 Sustainability of cereal-legume intercropping in relation to management of soil organic matter and nutrient cycling Workshop on research methods for cereal/ legume intercropping in eastern and southern África. Malawi p, 23-27
- Instituto de Suelos. 2001. Programa nacional de mejoramiento y conservación de suelos Agrinfor. La Habana. 39 p.
- ISTA 1985 International rules for seed testing. Seed Sci. and Techn. 13:421
- Kessler, C., Ramírez, L., Almendariz, I. y Herrera, F., 1993. Evaluación agronómica de la canavalia (*Canavalia ensiformis* (L) DC) en Yucatán, México En: *Canavalia ensiformis* (L) DC. Producción, procesamiento y utilización en la alimentación animal Eds. R.E. Vargas, A. León y A Escobar, Ed. Futuro. San Cristóbal p. 97-110
- Lalande, R., Gagnon, B. and Simard, R.R. 1998. Microbial biomass and alkaline phosphatase activity in two composted amended soils. Can. J. of Soil Sci. 78:581
- Lalande, R., Gagnon, B., Simard, R.R and Cote, O. 2000 Soil microbial biomass and enzyme activity following liquid hog manure application in a long- term field trial Can. J. of Soil Sci. 80:23
- Lynd, J.Q. y Ansman, TR. 1989. Soil fertility effects on growth, nodulation, nitrogenase and seed lectin components of jack beans (*Canavalia ensiformis* (L) DC). J. of Plant Nut 12:563
- Lynd, J.Q. y Ansman, T.R. 1993. Simbiosis nodular tripartita distintiva gobierna la síntesis de componentes altamente nitrogenados en la canavalia (*Canavalia ensiformis* (L) DC). En: *Canavalia ensiformis* (L) DC. Producción, procesamiento y utilización en la alimentación animal. Eds. R.E. Vargas, A. León y A. Escobar. Ed. Futuro, San Cristóbal p. 77-64
- Mandimba, G.R. 1999. Legumes as a source of nitrogen for subsequent maize crops in Congo, Agriculture 8:129
- Makarov, M.I. Zech, W. and Houmaier, L. 1995. Phosphorus in humic substances: Participation of organic compounds and organic-mineral compounds. En: Humic substances in the environment, new challenges and approaches Atlanta Georgia p 150-190
- Marín, D. y Viera, J. 1990, Crecimiento, nodulación y fijación de nitrógeno en plantas de *Canavalia ensiformis* (L) DC, bajo diferentes dosis de fertilización con nitrógeno y frecuencias de riego Agronomía Tropical 40:103
- Marín, D. 1993. Algunos aspectos ecofisiológico del cultivo de *Canavalia ensiformis*. En: *Canavalia ensiformis* (L) DC Producción, procesamiento utilización en la alimentación animal. Eds. R.E. Vargas, A. León y A. Escobar. Ed. Futuro. San Cristóbal p. 65-75
- Marín, D. 1996. Comparación ecofisiológica de los cultivares Tovar y Yaracuy de *Canavalia ensiformis* (L) DC, sembrados en dos localidades. 1. Análisis de crecimiento Agron. Tropical 46:5
- Marrero, Virginia Guzmán, J De J, Permuy, Nonada; González, Y., Hernández, María I, McDonald, J. y Ojeda, Anselma. 2001. Respuesta al N y a la densidad de siembra de cultivares de maíz en Cuba. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programa y resúmenes Boletín No 4 p. 124
- Martins, A y Laene, María 1998. Efeitos de adubos verdes nos componentes de producao de diferentes cultivares de milho Ciencia e Agrotec 22:466
- Martínez, R. 1987. Ciclo biológico del nitrógeno en el suelo. Ed. Científico-Técnica, La Habana. 167 p.
- Matías, C. 1896 Efecto de la fertilización orgánica sobre la producción y calidad de la semilla de *Neonotonia wightii* cv Tinaroo. Pastos y Forrajes 19: 65
- Mc Neill, Ann M., Chunya, Zhu and Fillery, I.R.P. 1996 A new approach to quantifying de N benefit from pasture legumes to succeeding wheat. Aust. J. of Agric. Res. 49:427
- Meersch van der, M.K 1992 Soil fertility aspects of alley cropping systems in relation to sustainable agriculture Ph.D Thesis Catholic University of Leuven
- Mesa, A, Casanova, A y Quintero, P L. 1995 La rotación de los cultivos en los sistemas de agricultura sostenible. En: N Encuentro Nac. de Agric. Orgánica. Conferencias y mesas redondas p. 27-30
- Ministerio de fa Agricultura 1980 Normas ramales 371. 372 y 373 Suelos y Fertilizantes Dirección de Normalización, Metrología y Control de fa Calidad. La Habana 22 p.

- Ministerio de la Agricultura 1992. Producción de semillas de pastos en el quinquenio 85-90 Informe al Viceministerio de la Agricultura La Habana 23 p.
- Monedero, Milagros; Claro, A., González, B y Uriarte, Raquel 2001. Las asociaciones de maíz-leguminosas como alternativa para mejorar la fertilidad de un suelo Rhodic Ferralsol en un sistema maíz-frijol XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo, Programa y resúmenes. Boletín No.4 p.198
- Mondini, C., Chiumenti, R, da Borso, F , Leita, L. and De Noblli, M. 1996. Changes during processing in the organic matter of composted and air-dried poultry manure. *Biorresources and Techn* 55:243
- Morejón, R., Hernández, Teresa y Hernández, Marlen 2000. Rotación de cultivos: sustitución parcial de fertilizantes nitrogenados e incremento de rendimiento en el cultivo de arroz Cultivos Tropicales 21:65
- Mulongoy, K. and Kang. BT 1986 The role and potential of forage legumes in alley cropping, live mulch and rotation systems in humid and sub-humid tropical Africa. Proceeding at Workshop ILCA Addis Ababa p. 212-231
- Navas, Petra B. y Marín, D. 1995. Comportamiento ecofisiológico de la asociación canavalia-maíz con y sin aplicación de nitrógeno y con diferentes arreglos cronológicos *Agronomía Tropical* 45:109
- Neves, Ma, Cristina y Rumjaneck Norma 1992. Bioquímica e fisiología da fixacao de nitrógeno. En. *Microbiología do solo. Soc. Brasileira de Ciencia do Solo. Sao Paulo. Brasil. P. 141-145*
- Onim, J F.M. Mathuva. M . Otieno K and Filzhugh, H.Á 1990 Soil fertility changes and response of maize and beans To green manures of *Leucaena*, *Sesbania* and pigeonpea *Agroforestry Systems* 12:197
- Ortega. F. 1982. La materia orgánica de los suelos y el humus de los suelos de Cuba- Ed. Academia, La Habana. 71 p.
- Ortiz, Ma Laura; Sánchez, E y Gutiérrez, Margarita 2001 Efectos de la adición de biosólidos sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz- XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo Programa y resúmenes. Boletín No 4 p. 115
- Palm, C.A. y Sánchez, P.A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol and Biodi* 23:83
- Paredes, L., Escobar, A. y Fernández, L. 1987. Efecto del nivel de suplementación con canavalia sobre el crecimiento de becerros. En Informe Anual del Inst. de Prod. Animal. Fac. de Agronomía, Univ. Central de Venezuela. p. 34-35
- Park, J and Cousin, S 1995 Soil biological heath and agroecological change. *Agric. Ecosyst. And Environm.* 56:137
- Pérez, A., Matías. C. y González, Yolanda 1995. Producción de semillas para el trópico EEPF "Indio Hatuey", Matanzas 34 p
- Pérez. A, Matías, C, González, Yolanda y Alonso. O. 1999 Tecnología para la producción de semillas de gramíneas y leguminosas tropicales. *Pastos y Forrajes* 20:20
- Pérez, A. y Suárez, J. 1997, Sustitución de fertilizantes minerales por materia orgánica en la producción de semillas de *Rhodes callide*. III Encuentro Nac. de Agric. Org. p. 17
- Pérez, A , Vieito. E., González, P.J. y Ramírez, J. 2000. Innovaciones y variantes para la producción de semillas de pastos. II Taller Internac. La semilla en fa ganadería tropical. EEPF Indio Hatuey. Matanzas
- Portieles. M.; Arteaga, O y Mojena. A. 1985 Estudio de la fertilización química y orgánica en la pangola. *Cienc. y Téc. En la Agric. Suelos y Agroq.* 8:23
- Powell, J.M. 1986. Manure for cropping, A case study from central Nigeria, *Exp. Agric.* 22:15
- Primavesi, Ana 1990 Manejo ecológico do solo A agricultura em regioes tropicais. 9na. Ed. Nobel Sao Paulo
- Ramón, J., Campo, Lidia, Ojeda, Mayra y Vale, Victoria. 1987. Instructivo técnico para el desarrollo de la lombricultura en Cuba Comisión Nac de Lombricultura Inst. de Suelos. La Habana
- Reddy, K.C , Soffers, A.R. and Prine, G M. 1966 Tropical legumes for green manure. L Nitrogen production and the effects on succeeding crop yields- *Agronomy Journal* 78:1
- Rivero, Carmen y Paolini, J. 1994. Caracterización de la materia orgánica de tres suelos venezolanos. *Revista Fac. de Agron* 20167 Rivero, Carmen 1999. Materia orgánica del suelo *Alcance* 57.1
- Rivera, R. y Urquiaga, S. 1995. Mineralización y participación del N de tres especies de abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz. II Encuentro Nac. de Agric. Orgánica. Programa y resúmenes p. 37
- Rodríguez. Idalmis, Crespo. G Torres, Verena y Fraga. S. 1997. Estudio de la velocidad de descomposición de las bostas vacunas en un pastizal de *Cynodon nlemfuensis*. Estación de Lluvia, Rev. cubana *Cienc. Agric.* 31:186
- Rosiah, V. and Kay, B.D. 1994. Quantifying the changes in clay stabilization after the introduction of forages *Soil Sci.* 157:318
- Roy, R.N. 1991. Integrated plant nutrition systems and sustainable development of soil productivity. FAO, Roma, Italy

- Ruiz, E. 1996, Propiedades físico-químicas de cinco tipos de vermicompost obtenidos en Cuba Tesis en opción al grado de MSc. ISCAH, La Habana Russet, CA. and Fillery. I.R.P. 1996 In situ ^{15}N labelling of lupin below-ground biomass. Aust. J. of Agric. Res. 47:1035
- Sánchez, P.A. y Salinas, J.G. 1991. Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical América. *Advances in Agronomy* 34:279
- Schulten, H.R. and Schnitzer, M. 1997. Chemical model structures for soil organic matter and soil. *Soil Sci* 162:115
- Steiner, K.G. 1996. Causes of soil degradation and development approaches to sustainable soil management GTZ, Weikersheim, Germany
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition and reactions* John Wiley: New York
- Tarawali G. 1991. The residual effect of stylosanthes fodder banks on maize yield at several locations in Nigeria. *Tropical Grasslands* 25:26
- Thomas, R.J. 1992, The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass and Forage Sci.* 47:133
- Thomas, R.J. y Asakawa, N.M. 1994. El papel de las leguminosas para mantener la productividad de suelos ácidos en las sabanas de América Latina. VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Programa y resúmenes p. 96-89
- Treto, Eolia 1995 Manejo ecológico de la fertilidad de los suelos en el trópico, III Encuentro Nac. de Agric. Org. Conf. y mesas redondas p. 20-26
- Trettin, C.C., Davidian, C., Jurgensen, M.F. and Lea, R. 1996. Organic Matter decomposition following harvesting and site preparation for a forested wetland *Soil Sci. Soc. of Am J* 60 1994
- Ustimenko, G.V. 1982, El cultivo de plantas tropicales y subtropicales, Ed. Mir, Moscú. 430 p.
- Vandermeer, J., van Noordwijk, M., Anderson, J., Ong, C. and Perfecto, Ivette 1998. Agriculture, ecosystems and environment 67:1
- Velvoort, R.W., Radcliffe, D.E., Cabrera, M.L. and Latimore, M. 1998 Nutrient losses in surface and subsurface flow from pasture applied poultry litter and composted poultry litter. *Nutrient Cycling in Agroec.* 50:287
- Venegas, R. y Siau, G. 1997. Principios para el diseño y manejo de sistemas de producción sustentable Ser Curso Internacional de Agricultura Orgánica IIPF-CEAS-ISCAHP 32-40
- Vieito, E.L. 2001 Uso de policultivo en la producción de semillas de hierba guinea. Tesis en opción al grado de M.Sc. Univ. de Matanzas
- Vieito, E.; González, P.J., Ramírez, J., Guillot, J.; Cárdenas, Thelma y Arzola, J. 2001. Sistemas ecológicos para la producción de semillas forrajeras Memorias del I Simposio Internac. sobre Ganadería Agroecológica. IIPF, La Habana. p. 87-88.
- Viera, J. y Ramis, Carolina 1993 Aspectos genéticos del cultivo de la canaria En. *Canavalia ensiformis* (L) DC Producción, procesamiento y utilización en la alimentación animal Eds. R.E. Vargas, A. León y A. Escobar Ed. Futuro, San Cristóbal p. 85-96
- Warman, P. R. 1998 Results of the long-term vegetable crop production trials: conventional vs compost-amended soils *Acta Hort.* 469:333
- Warman, P. R. and Cooper, J.M. 2000 Fertilization of a mixed forage crop with fresh and composted chicken manure and NPK fertilizer: Effects on soil and tissue Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. *Can. J. of Soil Sci.* 80:345
- Wen, G., Winter, J.P., Voroney, R.P. and Bates, T.E. 1997. Potassium availability with application of sewage sludge and manure compost in field experiments *Nutrient Cycling in Agroec* 97:233
- Wen, G., Bates, T.E., Voroney, R. P., Winter, J.P. and Schellembert, M.P. 1997. Comparison of phosphorus availability with application of sewage sludge, sludge compost and manure compost. *Soil Sci. and Plant Anal* 28:1481
- Whitmore, A.P. and Groot, J.J.R. 1997. The decomposition of sugar beet residues: mineralization versus Immobilization In contrasting soil types. *Plant and Soil* 95:237
- Yagodina, B.A. 1986. Sustancia orgánica del suelo. En: *Agroquímica I*, Ed. Mir, Moscú. 416 p.
- Yamoan, C. F. and Mayfield, M. 1990 Herbaceous legumes as nutrient sources and cover crops in the Rwandan highlands. *Biol. Agric. and Hort.* 7:1
- Zaman, M., Di, H.J., Cameron, K.C. and Frampton, C.M. 1999. Grass nitrogen mineralization and nitrification rates and their relationships to enzyme activities. *Biol. and Fert. of Soils* 29:178

ANEXOS

TABLA 1. Características del suelo del área experimental (prof. 0-20 cm).

PH (H ₂ O)	6.4	(0-2)
Materia orgánica (%)	3.22	(0.15)
P asim (mg kg ⁻¹)	38.1	(3.2)
Ca (cmol kg ⁻¹)	11.5	(1.3)
Mg (cmol kg ⁻¹)	2.33	(0.23)
K (cmol kg ⁻¹)	0.36	(0.07)
Na (cmol kg ⁻¹)	0.15	(0.03)
Densidad real (g cm ⁻³)	2.64	(0.10)
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.15	(0.07)
Porosidad total (%)	55.01	(2.72)
Porosidad aireac. (%)	20.13	(1.25)
() Desviación estándar		

TABLA 2. Comportamiento de las precipitaciones (mm) durante el periodo experimental.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	105	81	130	26	142	82	174	246	384	130	27	42
1999	121	34	54	5	157	115	122	254	218	201	285	9
2000	27	2	0	34	22	211	104	147	239	117	31	312
2001	13	9	13	78	94	114	90	156	315	273	101	120

TABLA 3. Caracterización de los abonos orgánicos (% MS).

	Relación								
	MO	N	C:N	P	K	Ca	Mg	PH	Humedad
Humus de lombriz	38.9	1.95	11.5	1.25	1.07	5.03	0.77	7.6	34.7
DS±	1.8	0.08	0.6	0.06	0.05	0.27	0.01	0.3	1.8
Estiércol vacuno	35.7	1.51	13.7	0.57	1.20	3.21	0.53	7.3	27.7
DS±	1.5	0.07	0.7	0.02	0.07	0.22	0.01	0.3	1.6

TABLA 4. Efecto de los abonos orgánicos en las características químicas del suelo.

Tratamientos	pH H ₂ O	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (c mol (+) kg ⁻¹)	Mg (c mol (+) kg ⁻¹)	K (c mol (+) kg ⁻¹)
Testigo	6.5 ^d	3.23 ^c	37.2 ^e	11.4 ^e	2.39 ^c	0.37 ^d
2 t ha ⁻¹ humus	6.6 ^{cd}	3.37 ^{bc}	43.1 ^{de}	11.9 ^{de}	2.44 ^c	0.41 ^{cd}
4 t ha ⁻¹ humus	6.8 ^{bc}	3.51 ^{ab}	51.7 ^{bc}	12.7 ^{cd}	2.52 ^{bc}	0.46 ^{bc}
6 t ha ⁻¹ humus	7.0 ^{ab}	3.65 ^{ab}	55.6 ^{ab}	13.0 ^{bc}	2.63 ^{bc}	0.52 ^{ab}
10 t ha ⁻¹ estiércol	6.8 ^{bc}	3.53 ^{ab}	44.9 ^{cd}	13.3 ^{bc}	2.65 ^{bc}	0.47 ^b
20 t ha ⁻¹ estiércol	7.0 ^{ab}	3.64 ^{ab}	53.8 ^{ab}	13.7 ^{ab}	2.90 ^{ab}	0.52 ^{ab}
30 t ha ⁻¹ estiércol	7.2 ^a	3.75 ^a	61.2 ^a	14.2 ^a	3.12 ^a	0.57 ^a
ES±	0.08 ^{**}	0.10 ^{**}	2.4 ^{**}	0.29 ^{**}	0.11 ^{**}	0.02 ^{**}
C.V., %	3.51	5.73	9.53	4.73	8.73	3.77

a, b, c, d, e: promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P < 0.05

TABLA 5. Efecto de los abonos orgánicos en las propiedades físicas del suelo.

Tratamientos	Humedad	Densidad	Porosidad (%)	
	natural(%)	aparente(g cm ⁻³)	Total	Aireación
Testigo	31.73 ^c	1.18 ^a	55.12 ^b	17.62 ^d
2 t ha ⁻¹ humus	33.01 ^b	1.12 ^{ab}	56.92 ^{ab}	19.95 ^c
4 t ha ⁻¹ humus	34.42 ^{ab}	1.09 ^{abc}	57.87 ^b	20.35 ^{bc}
6 t ha ⁻¹ humus	35.87 ^a	1.05 ^{bc}	59.15 ^a	21.90 ^{ab}
10 t ha ⁻¹ estiércol	34.59 ^{ab}	1.08 ^{bc}	58.30 ^{ab}	20.84 ^{bc}
20 t ha ⁻¹ estiércol	35.92 ^a	1.05 ^{bc}	59.37 ^a	21.65 ^{ab}
30 t ha ⁻¹ estiércol	36.57 ^a	1.02 ^c	60.77 ^a	23.17 ^a
ES±	1.83 ^{**}	0.03 ^{**}	1.25 ^{**}	0.55 ^{**}
C.V., %	4.81	5.53	4.97	5.92

a.b.c.d promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P<0.05

TABLA 6. Cantidad y masa de nódulos en la raíz principal de Canavalia ensiformis.

Tratamientos	No. de nódulos	Masa (mg)
Testigo	(5.1) 2.26 ^c	51.6 ^c
2 t ha ⁻¹ humus	(7.9) 2.81 ^b	83.9 ^b
4 t ha ⁻¹ humus	(10.8) 3.30 ^a	119.2 ^a
6 t ha ⁻¹ humus	(11.1) 3.33 ^a	120.8 ^a
10 t ha ⁻¹ estiércol	(10.9) 3.31 ^a	123.1 ^a
20 t ha ⁻¹ estiércol	(6.1) 2.46 ^c	68.7 ^c
30 t ha ⁻¹ estiércol	(2.3) 1.52 ^d	27.2 ^d
ES±	0.80 ^{**}	4.7 ^{**}
C.V., %	5.77	10.51

() Datos originales. Datos transformados según \sqrt{x}

a,b,c,d: Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P < 0.05)

TABLA 7. Rendimiento de semilla pura de canavalia y sus componentes.

Tratamiento	Longitud legumbres (cm)	Semillas/ Legumbres	Legumbre/ planta	Masa mil semillas (g)	Masa de semillas / planta (g)	Semilla pura (kg ha ⁻¹)
Testigo	29.5	(12.9) 3.59	(3.2) 1.78 ^c	1420 ^b	58.9 ^b	2157 ^c
2 t ha ⁻¹ humus	29.3	(13.4) 3.65	(4.4) 2.09 ^b	1587 ^a	87.7 ^b	2715 ^b
4 t ha ⁻¹ humus	30.1	(13.0) 3.62	(6.5) 2.55 ^a	1595 ^a	133.5 ^a	3891 ^a
6 t ha ⁻¹ humus	29.4	(12.7) 3.57	(6.2) 2.50 ^a	1601 ^a	126.9 ^a	3789 ^a
10 t ha ⁻¹ estiércol	28.9	(12.6) 3.55	(4.3) 2.08 ^b	1597 ^a	90.6 ^b	2632 ^b
20 t ha ⁻¹ estiércol	29.0	(13.0) 3.61	(6.4) 2.54 ^a	1594 ^a	132.9 ^a	3924 ^a
30 t ha ⁻¹ estiércol	30.1	(12.8) 3.59	(6.3) 2.52 ^a	1592 ^a	128.4 ^a	3843 ^a
ES±	0.9	0.06	0.06 ^{**}	20.5 ^{**}	5.1 ^{**}	108 ^{**}
C.V., %	6.10	3.88	4.95	2.99	7.53	8.13

() Datos originales. Datos transformados según \sqrt{x}

a,b,c: promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P < 0.05)

TABLA 8. Producción de biomasa y contenido de nutrientes (kg ha⁻¹) en los residuos de cosecha de la canavalia.

Tratamientos	MS	N	P	K	Ca	Mg
Testigo	2825 ^c	77.6 ^c	8.2 ^c	33.9 ^d	72.0 ^c	17.5 ^a
2 t ha ⁻¹ humus	3391 ^b	92.9 ^{bc}	10.5 ^b	41.0 ^c	86.5 ^b	21.4 ^c
4 t ha ⁻¹ humus	4027 ^a	112.4 ^a	14.8 ^a	49.5 ^{ab}	102.3 ^a	24.6 ^{abc}
6 t ha ⁻¹ humus	4153 ^a	116.3 ^a	15.2 ^a	50.7 ^a	104.7 ^a	25.1 ^{ab}
10 t ha ⁻¹ estiércol	3422 ^b	94.8 ^b	11.0 ^b	42.1 ^{bc}	86.9 ^b	21.6 ^{bc}
20 t ha ⁻¹ estiércol	4063 ^a	114.2 ^a	15.0 ^a	49.2 ^{ab}	102.8 ^a	25.2 ^a
30 t ha ⁻¹ estiércol	3744 ^{ab}	1033 ^{ab}	13.7 ^a	45.7 ^{abc}	95.5 ^{ab}	23.6 ^{abc}
ES±	150 ^{**}	5.2 ^{**}	=.5 ^{**}	2.4 ^{**}	4.7 ^{**}	1.1 ^{**}
C.V., %	9.63	10.07	7.79	10.72	10.15	9.86

a,b,c,d: promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P < 0.05

TABLA 9. Producción de biomasa y extracción de nutrientes (kg ha⁻¹) por los residuos de la canavalia.

Tratamiento	MS	N	P	K	Ca	Mg
Testigo	2715 ^b	71.6 ^b	7.7 ^b	31.1 ^b	67.5 ^b	16.3 ^b
4 t ha ⁻¹ humus	3987 ^a	98.3 ^a	13.5 ^a	40.2 ^a	85.6 ^a	20.7 ^a
20 t ha ⁻¹ estiércol	4026 ^a	99.7 ^a	14.3 ^a	41.5 ^a	86.2 ^a	21.1 ^a
ES±	143 ^{**}	3.0 ^{**}	0.2 ^{**}	1.5 ^{**}	3.1 ^{**}	0.5 ^{**}
C.V. (%)	8.03	6.67	4.71	7.13	7.51	5.19

a,b: promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P < 0.05

TABLA 10. Efectos de los abonos orgánicos y el arripe en las características químicas del suelo.

Tratamientos	PH H ₂ O	MO %	P (mg kg ⁻¹)	Ca (c mol (+) kg ⁻¹)	Mg (c mol (+) kg ⁻¹)	K (c mol (+) kg ⁻¹)
Testigo	6.6 ^b	3.34 ^c	44.2 ^c	12.2 ^b	2.61 ^b	0.49 ^c
41 ha ⁻¹ humus	6.9 ^{ab}	3.65 ^b	59.5 ^b	12.8 ^{ab}	2.74 ^{ab}	0.56 ^{**}
20 t ha ⁻¹ estiércol	7.2 ^a	3.80 ^a	65.0 ^a	13.7 ^a	3.12 ^a	0.64 ^a
ES±	0.05 ^{**}	0.06 ^{**}	0.5 ^{**}	0.15 ^{**}	0.04 ^{**}	0.05 ^{**}
Sin arripe	6.7	3.48 ^b	54.1 ^b	12.6 ^b	2.74	0.53 ^b
Con arripe	7.0	3.70 ^a	58.3 ^a	13.1 ^a	2.89	0.60 ^a
ES±	0.06	0.08 ^{**}	0.7 ^{**}	0.18 ^{**}	0.05	0.06 ^{**}
C.V. (%)	320	7.79	8.11	5.14	7.81	3.89

a,b,c: Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P < 0.05

TABLA 11. Efectos de los abonos orgánicos y el arripe en propiedades físicas del suelo.

Tratamientos	Humedad • natural (%)	Densidad aparente (g cm ⁻²)	Porosidad (%)	
			Total	Aireación
Testigo	30.88 ^b	1.14 ^a	54.32 ^b	19.84 ^b
41 ha ⁻¹ humus	33.62 ^a	1.07 ^b	58.93 ^a	22.30 ^a
20 t ha ⁻¹ estiércol	33.48 ^a	1.05 ^b	59.38 ^a	22.53 ^a
ES±	0.31 ^{**}	0.03 ^{**}	0.69 ^{**}	0.26 ^{**}
Sin arripe	31.60 ^b	1.12 ^a	56.02 ^b	20.14 ^b
Con arripe	33.73 ^a	1.05 ^b	58.81 ^a	22.32 ^a
ES±	0.35 ^{**}	0.04 ^{**}	.73 ^{**}	0.29 ^{**}
C.V. (%)	4.02	5.56	6.12	5.09

a,b: promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P < 0.05

TABLA 12. Efectos de los abonos orgánicos y el arripe en el rendimiento de semilla de maíz y sus componentes.

Tratamientos	Diámetro de mazorca (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Masa de mil semillas (g)	Semilla pura (kg ha ⁻¹)
Testigo	5.2	17.3 ^b	282.8 ^b	2382 ^b
41 ha ⁻¹ humus	4.8	21.7 ^a	295.4 ^a	2988 ^a
20 t ha ⁻¹ estiércol	5.0	22.3 ^a	298.7	3128 ^a
ES±	0.1	0.6*	2.1**	91**
Sin arripe	5.1	17.8 ^b	286.9 ^b	2581 ^b
Con arripe	4.9	22.0 ^a	297.7	3084 ^a
ES±	0.1	0.7**	3.0*	109**
C.V. (%)	4.02	6.93	3.93	13.10

a,b: Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a $P < 0.05$.

TABLA 13. Masa de mil semillas y rendimientos de semilla pura de la canavalia y el maíz.

Tratamientos	Canavalia		Maíz	
	Masa de mil semillas (g)	Semilla pura (kg ha ⁻¹)	Masa de mil semilla (g)	Semilla pura (kg ha ⁻¹)
Testigo	1407 ^b	2180 ^c	283.1 ^c	2251 ^d
100% fert.	1582 ^a	3363 ^a	304.2 ^a	3873 ^a
4 t ha ⁻¹ humus	1591 ^a	3415 ^a	292.9 ^b	3177 ^c
41 ha ⁻¹ hum + 25% fert.	1583 ^a	3391 ^a	305.3 ^a	3420 ^{bc}
41 ha ⁻¹ hum. + 50% fert.	1585 ^a	3252 ^{ab}	304.7 ^a	3902 ^a
20 t ha ⁻¹ est.	1590 ^a	3403 ^a	293.0 ^b	3314 ^c
20 t ha ⁻¹ est. + 25% fert.	1592 ^a	3319 ^{ab}	303.9 ^a	3892 ^a
20 t ha ⁻¹ est. + 50% fert.	1589 ^a	2987 ^b	304.5 ^a	3751 ^{ab}
ES±	18.7**	110**	3.2**	139**
C.V. (%)	2.41	7.03	2.81	8.35

a,b,c,d: promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a $P < 0.05$

TABLA 14. Capacidad de germinación (%) de las semillas de canavalia y maíz.

Tratamientos	Canavalia		Maíz	
	Momento de cosecha*	6 meses después*	Momento de cosecha*	6 meses después*
Testigo	98.3	67.1	100.0	79.8
100% fert.	99.7	69.2	99.7	80.7
4 t ha ⁻¹ hum	100.0	68.7	100.0	81.2
4 t ha ⁻¹ hum+ 25% fert.	98.9	69.5	98.9	79.7
4 t ha ⁻¹ hum. + 50% fert.	99.2	67.9	99.3	80.0
20 t ha ⁻¹ est.	99.7	69.0	100.0	81.3
20 t ha ⁻¹ est. + 25% fert.	100.0	68.3	99.5	79.5
20 t ha ⁻¹ est. + 50% fert.	99.5	67.1	100.0	80.1
ES±	2.5	1.2	2.7	1.8
C.V. (%)	6.43	4.34	5.70	4.91

* Datos retransformados

TABLA 15. Eficiencia económica de la fertilización en la secuencia de cultivos canavalia-maíz.

Tratamientos	Variantes		
	PK NPK	4 t ha ⁻¹ humus 50% NPK	20 t ha ⁻¹ estiércol 25% NPK
Incremento de la prod. (kg ha ⁻¹)*	2805	2886	2864
Gastos adicionales (pesos ha ⁻¹)			
a) Fertilizantes químicos	180.15	65.80	32.90
b) Humus de lombriz	-	71.04	-
c) Estiércol vacuno	-	-	73.40
d) Cosecha del incremento	361.60	371.15	368.45
e) Gasto total	541.75	507.99	474.75
Valor de la prod. (pesos ha ⁻¹)	11 312.75	11 609.0	11 524.90
Ganancia neta	10771.0	11 101.01	11 050.15
Compensación de cada peso de gastos extras basado en el incremento de la cosecha	20.88	22.85	23.28
Ahorro de fertiliz. químico (kg ha ⁻¹)	0	512.7	554.3

* Se refiere a la suma de los rendimientos de semilla pura de la canavalia y el maíz

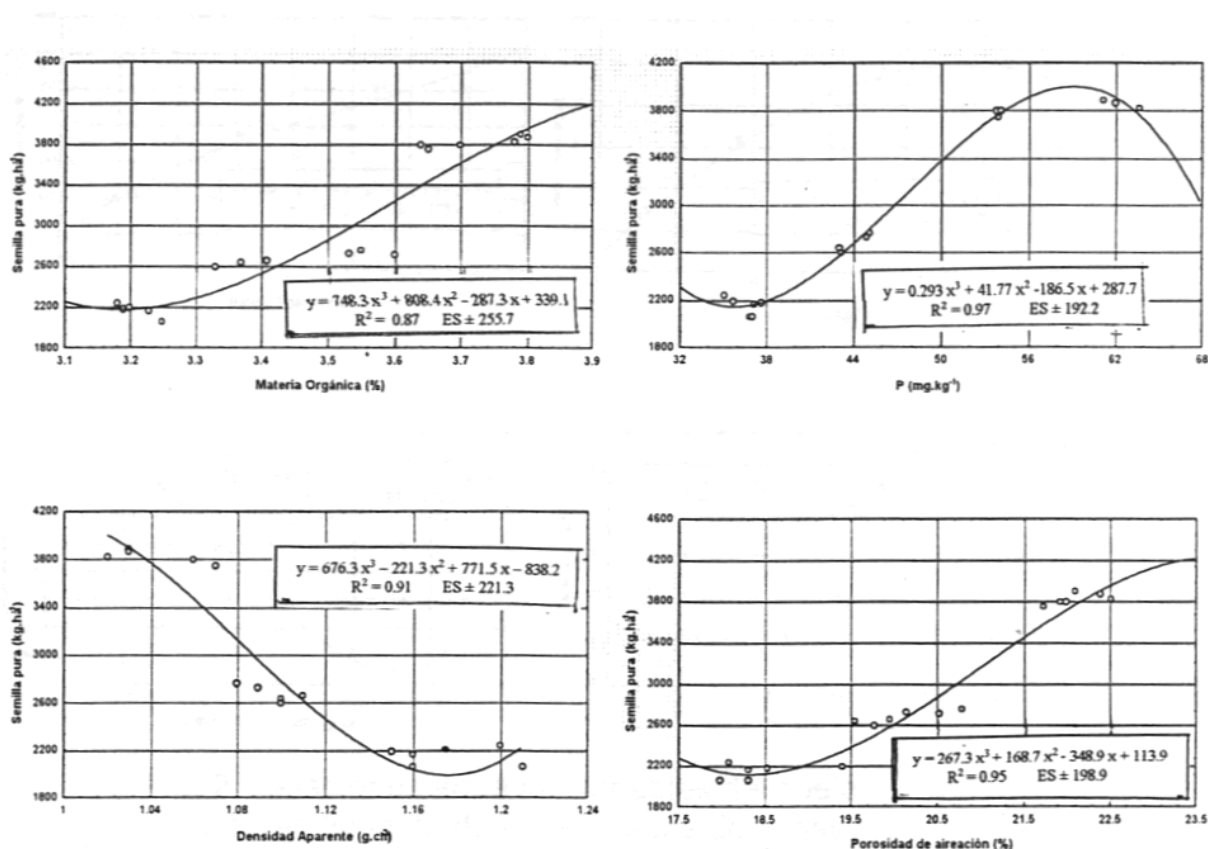


Fig. 1. Relaciones entre las variables del suelo y el rendimiento de semilla pura de canavalia.

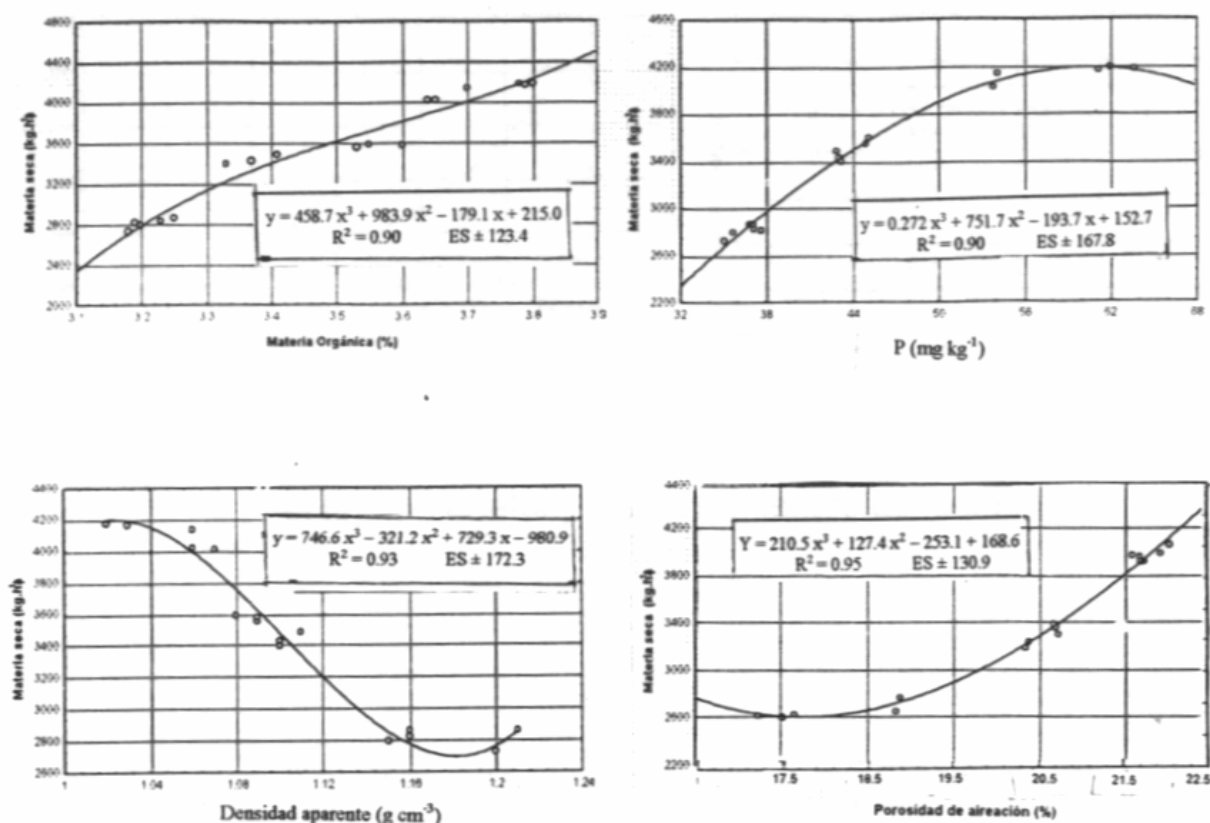


Fig. 2. Relaciones entre las variables del suelo y el rendimiento de materia seca de canavalia.

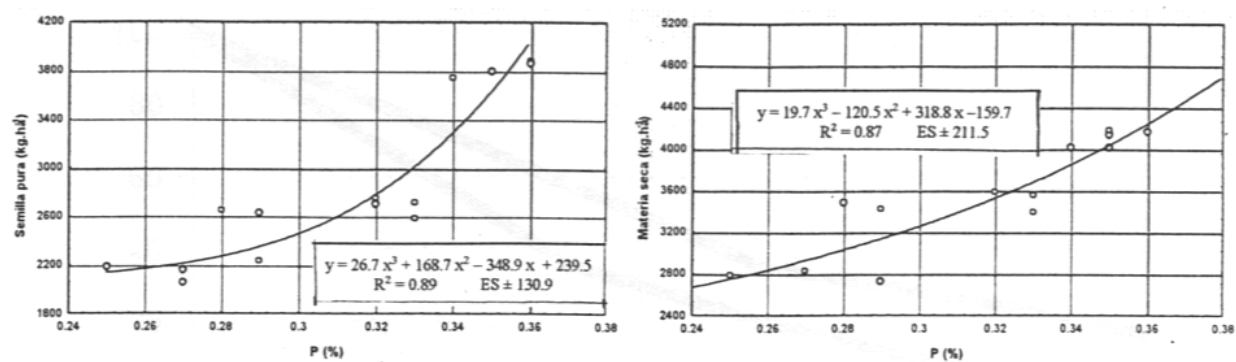


Fig. 3. Relaciones entre las concentraciones de P en el tejido vegetal y los rendimientos de la canavalia.

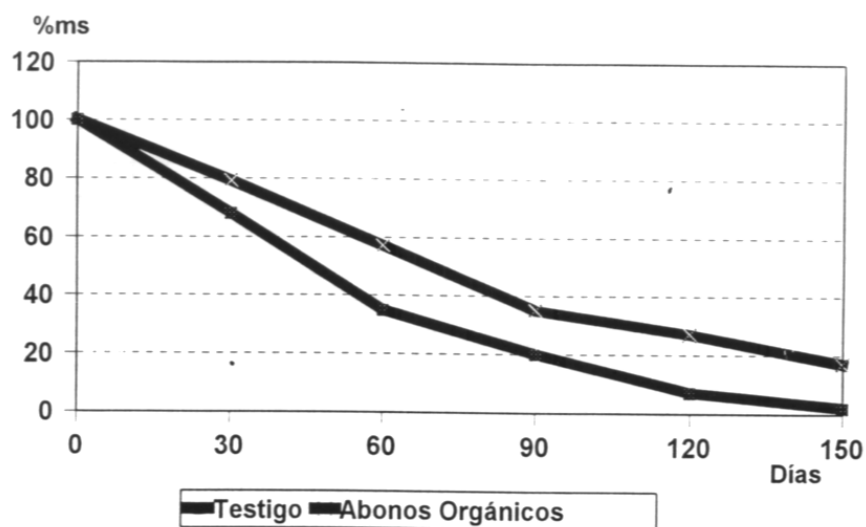


Fig. 4. Velocidad de descomposición de los residuos de canavalia.

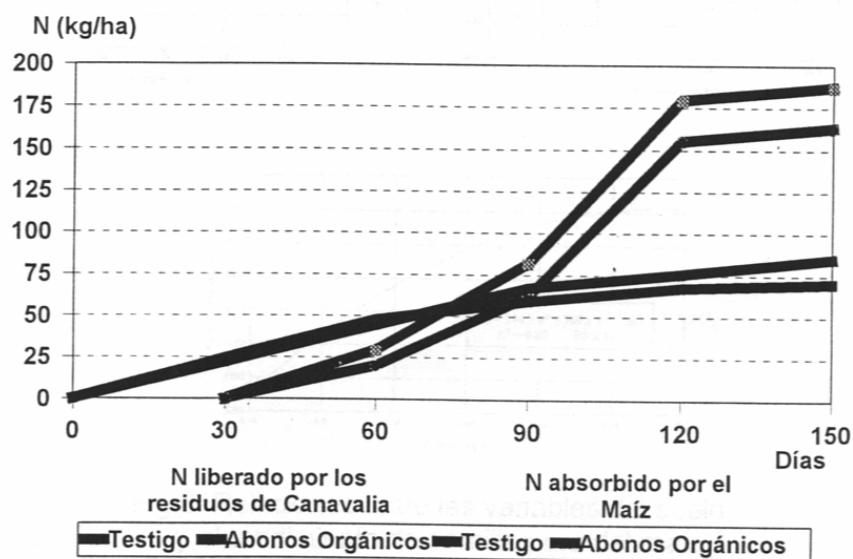


Fig. 5. Nitrógeno liberado por los residuos de canavalia y absorbido por el maíz.

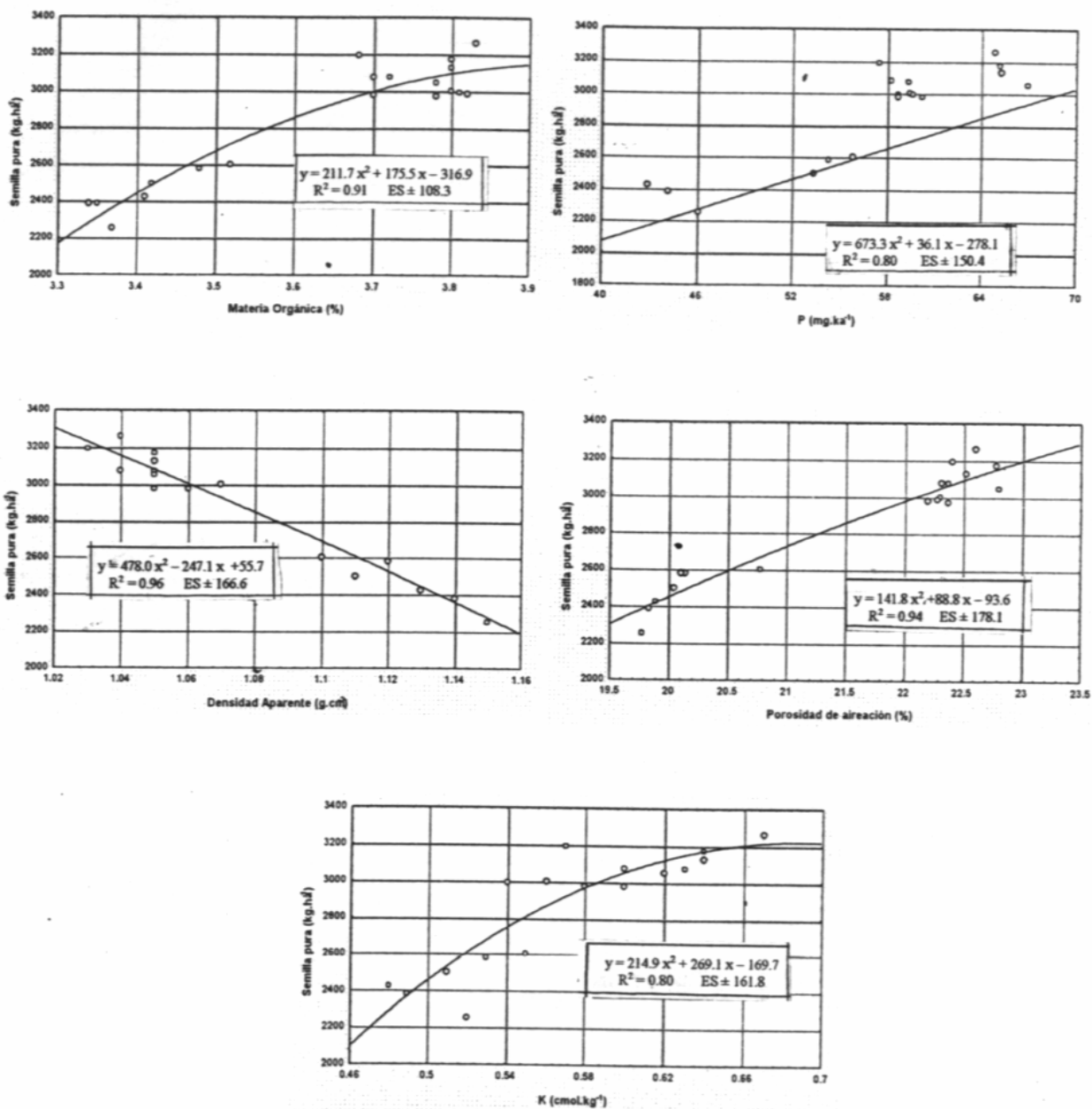


Fig. 6. Relaciones entre las variables del suelo y el rendimiento de semilla pura de maíz.