



# EVALUACIÓN DEL EFECTO AGRONÓMICO DEL BIOSÓLIDO PROCEDENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO POR DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUALES PECUARIOS EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

## Evaluation of the agronomic effect of biosolids from a wastewater treatment by anaerobic digestion of livestock waste in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop

Alejandro Negrín Brito<sup>✉</sup> y Yamilé Jiménez Peña

**ABSTRACT.** In the Biofood Research Center carry up the investigation about agronomic biosolids effect, obtained from a wastewater treatment by anaerobic digestion of livestock waste, in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) phenological indicators, var. «Milagro villaclareño», used a planting frame 0.90 x 0.07 m (14.3 plants.m<sup>-1</sup>), from December 4, 2009 in Red Ferralitic soil (Nitisol), pH:7.3 and containing P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O of 17.3 and 48.30 mg.100 g<sup>-1</sup>, respectively. Used a randomized block design with three treatments (dose: 0.0; 6.8 and 9 t.ha<sup>-1</sup>) and three replicates (nine experimental units), each plot had an area of 40 m<sup>2</sup>, the biosolids are applied before planting in the final groove. The diameter of the stem after 40 days showed significant differences (p<0.01) in treatments with application of sewage sludge, similar behavior was achieved at the height of the plant from of 32 days after the establishment, reaching 65 cm in the fourth quarter. The number of pods per plant and grains per pod also showed statistical differences in the first case, the high application of sludge compared to other treatments and the second case the two applications compared to control. The treatment of 9 t.ha<sup>-1</sup> gave the highest yield (2.40 t.ha<sup>-1</sup>) than the control in 0.80 t.ha<sup>-1</sup>.

**RESUMEN.** En el Centro de Investigación en Bioalimentos se evaluó el efecto agronómico de los biosólidos provenientes de la digestión anaerobia de residuales pecuarios, en los indicadores fenológicos del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), var. «Milagro villaclareño». Se utilizó un marco de plantación de 0.90 m x 0.07 m (14.3 plantas por metro) a partir del 4 de diciembre del 2009 en un suelo Ferralítico Rojo, pH: 7.3 y un contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O de 17.3 y 48.30 mg.100g<sup>-1</sup>, respectivamente. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres tratamientos (dosis: 0.0; 6.8 y 9 t.ha<sup>-1</sup>) y tres replicas (nueve unidades experimentales), cada parcela tuvo un área de 40 m<sup>2</sup>, el biosólido se aplicó antes de la siembra en el fondo del surco. El diámetro del tallo a partir de los 40 días mostró diferencias significativas (p<0.01), en los tratamientos con aplicación del biosólido el comportamiento similar se logró en la altura de la planta a partir de los 32 días de establecida, llegando hasta 65 cm en el último periodo. La cantidad de vainas por planta y granos por vaina también presentaron diferencias estadísticas, en el primero de los casos, la mayor aplicación de biosólido en relación con el resto de los tratamientos y el segundo caso las dos aplicaciones respecto al control. El tratamiento con 9 t.ha<sup>-1</sup> presentó el mayor rendimiento (2.40 t.ha<sup>-1</sup>), superando al testigo en 0.80 t.ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** sludge, bean, yield, sludge dose

**Palabras clave:** frijol, rendimiento, dosis de aplicación

## INTRODUCCIÓN

Las excretas de animales, vistas por muchos como un contaminante ambiental, pueden generar recursos valiosos mediante su procesamiento anaeróbico en biodigestores, de tal forma que al reciclarse, parte de la energía y de sus

nutrientes favorezcan la sustentabilidad de la producción animal y al mismo tiempo aprovechar los desechos orgánicos (1).

Desde el punto de vista agrícola, con este proceso se obtiene un material maduro, estable e higienizado, con un alto contenido en materia orgánica, que puede ser utilizado sin riesgo en la agricultura, por ser inocuo y no contener sustancias fitotóxicas, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas (2).

La introducción de fertilizantes de origen orgánico resulta de suma importancia en los momentos actuales en que se dan pasos para cambiar la llamada agricultura

M.Sc. Alejandro Negrín Brito, Investigador Agregado y Profesor Auxiliar Adjunto; M.Sc. Yamilé Jiménez Peña, Investigadora Agregada y Profesora Asistente Adjunto, Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA), carretera de Patria km 1½, Morón, Ciego de Ávila, Cuba.

✉ [negrin@ciba.fica.inf.cu](mailto:negrin@ciba.fica.inf.cu); [yamile@ciba.fica.inf.cu](mailto:yamile@ciba.fica.inf.cu)

moderna, por la agricultura biológica o agroecológica (3). El uso de abonos orgánicos constituye una práctica común en la agricultura de Cuba y varios países del mundo, debido fundamentalmente al papel crucial que estos cumplen en la nutrición de los cultivos agrícolas y su influencia en la actividad fisiológica de las plantas (4).

La definición del estado de la fertilidad de un suelo requiere información sobre disponibilidad de los nutrientes, presencia de elementos tóxicos y propiedades químicas, físicas y biológicas. Ello permite tomar decisiones acerca de su manejo (5).

Con la aplicación de biosólidos al suelo se pueden satisfacer los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio del cultivo, previendo siempre los niveles de metales pesados no esenciales presentes, lo que ha mostrado ser una forma efectiva de reutilizar benéficamente los productos residuales (6), que son potencialmente dañinos debido a que contienen contaminantes químicos y agentes causantes de enfermedades.

La sociedad tiene como principio la obligatoriedad de hacer un uso más completo de los recursos de que dispone y, al mismo tiempo, proteger el entorno en que vive (7). Es por ello que en el sector agropecuario se debe potenciar los ciclos cerrados de producción cuando se dispone de plantas de tratamiento de residuales, ya que a partir del uso de los lodos derivados del proceso anaerobio se puede obtener una fuente de abono orgánico para los cultivos de interés agrícola, por tal motivo se propone como objetivo de este trabajo, evaluar el efecto agronómico del biosólido generado a partir del residual pecuario mediante un proceso de digestión anaerobia de un biodigestor en los indicadores fenológicos del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en áreas demostrativas del Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA), ubicado en el municipio Morón, provincia Ciego de Ávila,

a partir de diciembre del 2009 hasta febrero del 2010. El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad «Milagro villaclareño» (color negro), se sembró a una distancia de 0.90 x 0.07 m (14.3 plantas por metro) (8).

El biosólido utilizado procedió de la planta de tratamiento por digestión anaerobia del propio centro, alimentada con residual pecuario. Las propiedades químicas del biosólido estudiado aparecen en la Tabla I y se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en las normas (9) que regulan la utilización de lodos y biosólidos con fines agrícolas, por lo que puede considerarse que este residuo (clase A) es apto para ser utilizado en la agricultura.

El suelo utilizado para el experimento fue Ferralítico Rojo de acuerdo a la nueva versión de clasificación de los suelos de Cuba (10) cuyas características se describen en la Tabla II.

Se realizaron dos aplicaciones de Tamarón a los 33 y 51 días para el control del salta hojas del frijol (*Empoasca kraemeri* Ross), con dosis de 1 L.ha<sup>-1</sup> (11), la identificación se realizó con la ayuda de la clave (12), se aplicó hidrato de cal a los 48 días de establecido a razón de 2 kg.ha<sup>-1</sup> de forma preventiva, las especies arvenses se controlaron de forma manual, se aplicaron cinco riegos con normas de 250 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (riego por surcos), en correspondencia con el ciclo del cultivo.

*Diseño experimental y tratamientos.* Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres tratamientos y tres réplicas, partiendo de una aplicación cero. Para el cálculo de dosis se tomó como patrón el contenido de nitrógeno del biosólido (13).

- ♦ Suelo sin aplicación de fertilizante
- ♦ Suelo con aplicación de 150 kg.ha<sup>-1</sup> de N (6.8 t.ha<sup>-1</sup> de biosólido)
- ♦ Suelo con aplicación de 200 kg.ha<sup>-1</sup> de N (9 t.ha<sup>-1</sup> de biosólido)

El área de cada parcela fue de 40 m<sup>2</sup> (120 m<sup>2</sup> de área total), el biosólido se aplicó antes de la siembra en el fondo del surco quedando distribuido uniformemente (14), el método utilizado fue manual.

**Tabla I. Propiedades químicas de los biosólidos procedentes de la planta de tratamiento por digestión anaerobia del CIBA (expresados en base seca)**

Indicador	Promedio	Intervalo de confianza	Indicador	Promedio	Intervalo de confianza
MO	53.0	54.49-51.51	Cd	0.7	0.8-0.6
N	2.2	2.48-1.92	Cr	7.31	7.7-6.9
P	1.5	1.64-1.36	Cu	4.27	4.97-3.57
K %	0.8	0.9-0.7	Co	0.35	0.45-0.25
Ca	8.8	9.49-8.11	Ni	0.90	1.00-0.8
Mg	1.2	1.44-0.96	Pb	21.9	22.7-12.1
Relación C/N	14/1	16/1-13/1	Zn	15.4	17.9-12.9
pH	7.5	7.7-7.3	Mn	24.7	27.6-21.8
CE (mS/cm)	1.4	1.68-1.2			

MO (materia orgánica), N (nitrógeno), O (fósforo), K (potasio), Ca (calcio), Mg (magnesio), C/N (relación carbono-nitrógeno), CE (conductividad eléctrica), Cd (cadmio), Cr (cromo), Cu (cobre), Co (cobalto), Ni (níquel), Pb (plomo), Zn (zinc), Mn (manganeso)

**Tabla II. Características químicas del suelo en el área experimental**

Contenido	Contenido
pH (mg/100 g)	7.30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100 g)	17.28
K <sub>2</sub> O (mg/100 g)	48.30
Humedad (%)	11.26
MO (%)	2.61
Ca (cmol.kg <sup>-1</sup> )	11.20
Mg (cmol.kg <sup>-1</sup> )	2.24
Na (cmol.kg <sup>-1</sup> )	0.16
K (cmol.kg <sup>-1</sup> )	1.04
UT (cmol.kg <sup>-1</sup> )	15.36
CE (mS/cm)	0.23

MO (materia orgánica), UT (capacidad de transferencia catiónica), CE (conductividad eléctrica)

### Evaluaciones realizadas

**Fenología del cultivo.** Al cultivo establecido se le realizó determinaciones de los indicadores fenológicos (diámetro del tallo, altura de la planta, cantidad de vainas por plantas, cantidad de granos por vainas y peso de 100 semillas) para evaluar su desarrollo vegetativo (15).

**Índice de crecimiento.** Para cada medición de tamaño de la planta se evaluó el crecimiento obtenido en relación con la medición anterior (15).

**Rendimiento.** A los 90 días se realizó la cosecha según lo indicado por el Instructivo Técnico del cultivo del frijol (16). Al final de la cosecha se calculó el rendimiento (t.ha<sup>-1</sup>).

**Análisis económico** Se tomaron los precios de los fertilizantes químicos para los productores privados establecidos por el Ministerio de Agricultura (16) y el costo de la mano de obra para obtener el biosólido, se tomaron también las dosis de fertilizante inorgánico establecidas para el cultivo y las orgánicas de biosólido propuestas en el trabajo.

La información colectada, fue procesada mediante el paquete estadístico computarizado SPSS versión 15 (1999), empleándose ANOVA de clasificación doble y la dócima de Duncan (17) para realizar la discriminación entre las medias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diámetro del tallo (Tabla III) mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) en los tratamientos con aplicación del biosólido (6.8 t.ha<sup>-1</sup> y 9 t.ha<sup>-1</sup>) en relación con el testigo a los 40 y 50 días de establecido el cultivo, manifestándose un desarrollo vigoroso y consecuente con la variedad, teniendo en cuenta que es el frijol una planta poco competitiva (18).

**Tabla III. Mediciones del diámetro del tallo en las plantas seleccionadas (cm)**

Tratamientos	30 días	40 días	50 días
Control	0.10	0.10 b	0.10 b
Biosólido (6.8 t.ha <sup>-1</sup> )	0.13	0.20 a	0.21 a
Biosólido (9 t.ha <sup>-1</sup> )	0.11	0.18 a	0.21 a
ES ±	0.00	0.01	0.13
Sig	ns	***	***

\*\*\* $p < 0.001$  letras no comunes en columnas difieren, según Duncan (17, 21)

Resultados similares a los del presente trabajo han sido destacados, además, en estudios realizados en tomate (*Solanum lycopersicon* L.) (19), encontrando que las plantas en suelo tratado con fertilizante mineral y biosólidos lograron los mayores valores de diámetro del tallo como respuesta a las concentraciones de los elementos esenciales incorporados.

Por otra parte se reportaron diámetros desde 0.8 hasta 0.11 cm utilizando dosis mínimas de fertilizante químico en suelos de Costa Rica (20).

Otros valores (0.21 cm) también fueron obtenidos pero con la aplicación de estiércol bovino y humus como biofertilizante (21).

Como se muestra en la Tabla IV las dosis aplicadas de biosólido marcaron diferencias estadísticas para la altura a partir de los 32 días de establecido el cultivo, alcanzándose la mayor altura (0.65 m) y el mayor índice de crecimiento (0.27 m) en el último periodo (Tabla V), resultado que se corresponde con el incremento en el crecimiento de las plantas provocado por la aplicación del biosólido al suelo (22).

**Tabla IV. Mediciones de la altura en las plantas seleccionadas (m)**

Tratamientos	15	21	32	40	47
			(días)		
Control	0.12	0.17	0.23 c	0.32 b	0.44 b
Biosólido (6.8 t.ha <sup>-1</sup> )	0.13	0.18	0.28 b	0.38 a	0.63 a
Biosólido (9 t.ha <sup>-1</sup> )	0.12	0.17	0.32 a	0.38 a	0.65 a
ES ±	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02
Sig	ns	ns	***	**	***

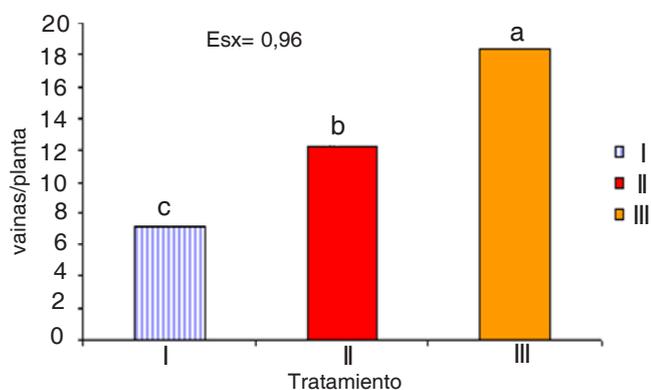
**Tabla V. Mediciones del índice de crecimiento de las plantas seleccionadas (m)**

Tratamientos	21	32	40	47
			días	
Control	0.5	0.6 c	0.11 a	0.12 b
Biosólido (6.8 t.ha <sup>-1</sup> )	0.5	0.10 b	0.10 a	0.25 a
Biosólido (9 t.ha <sup>-1</sup> )	0.5	0.14 a	0.6 b	0.27 a
ES ±	0.028	0.011	0.008	0.023
Sig	ns	***	**	***

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; letras no comunes en columnas difieren según Duncan (17, 21)

Sin embargo, se encontró que los periodos de mayor intensidad en el crecimiento coinciden con los de mayor absorción de nutrientes (23), debido a que la aplicación de estos residuos orgánicos incrementan los contenidos de macro y micro nutrientes esenciales en los suelos en forma directamente asimilable por las plantas, fundamentalmente los procedentes de la mineralización de la materia orgánica en forma gradual, todo esto provoca que las plantas tengan una mayor disponibilidad, absorción y asimilación de los nutrientes (24).

La cantidad de vainas por planta (Figura 1) presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) entre todos los tratamientos en estudio, destacándose la mayor dosis de biosólido aplicada ( $9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), que presentó la mayor cantidad de vainas promedio (18.40). Otros resultados reportaron en variedades de frijol rojo 14.70 vainas por planta, utilizando urea como fertilizante a razón de  $0.12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (25), resultados inferiores a los obtenidos en este trabajo (18.40) donde se utilizó biosólido de residuales pecuarios procedentes de una planta de digestión anaerobia.



\*\*\*  $p < 0.001$ ; letras no comunes en columnas difieren según Duncan (17, 21)

I (sin aplicación de fertilizante), II (con aplicación de  $6.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de biosólido) y III (con aplicación de  $9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de biosólido)

**Figura 1. Cantidad de vainas por plantas (uno) en el total de muestreos realizados**

Reportes encontrados para este componente del rendimiento muestran valores de 5.75 a 15.72 vainas por planta en el estudio de 15 variedades de frijol rojo en la provincia de Ciego de Ávila (26).

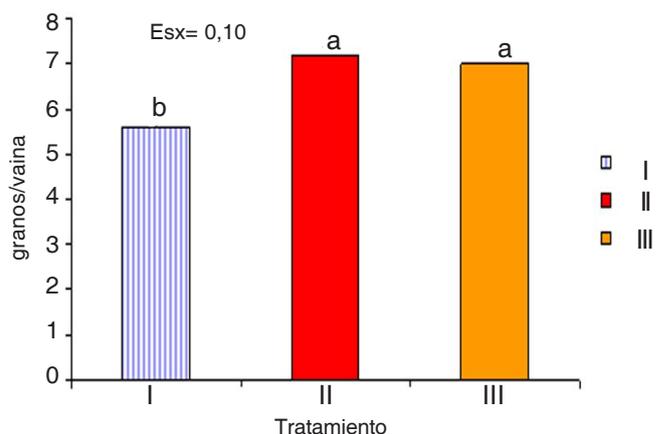
Por otra parte, la utilización de NPK+urea, con aporte de 30, 28 y  $45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de nitrógeno, fósforo y potasio, en la siembra en bandas a 3 cm por debajo de la semilla y una fertilización nitrogenada a los 25 días con urea a razón de  $149 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , representó un aporte de  $64.54 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de nitrógeno, obteniéndose 14.32 vainas por planta (26).

Es importante destacar que al tener las necesidades de agua cubiertas, el nitrógeno es el factor limitante más importante para el desarrollo de las plantas, que lo necesitan para formar proteínas y ácidos nucleicos, pero a pesar de la abundancia de  $\text{N}_2$  en la atmósfera (más del 70 por ciento), no es aprovechable por las plantas que se ven obligadas a utilizar las formas combinadas que se

encuentran en el suelo en cantidades insuficientes para soportar los cultivos intensivos (27).

Resulta obvio que aumentar el uso y mejorar el manejo del  $\text{N}_2$  fijado biológicamente por esta leguminosa es una meta importante para la agricultura tanto por razones humanitarias como por razones económicas (28).

La cantidad de granos por vaina (Figura 2) presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) en los tratamientos con aplicación de biosólido en relación con el testigo, obteniéndose como promedio 7.10 granos, mientras que en el tratamiento control solo alcanzó 5.60 granos. Estos resultados fueron superiores al de otros autores que obtuvieron 3 y 4.80 granos por vaina en variedades rojas utilizando urea ( $0.12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) como fertilizante químico (29).



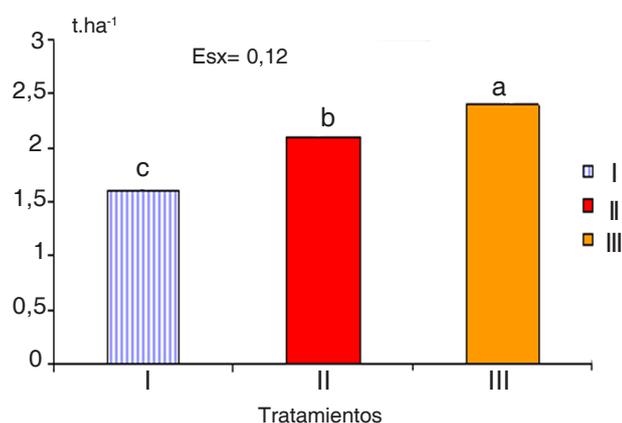
\*\*\*  $p < 0.001$ ; letras no comunes en columnas difieren según Duncan (17, 21)

I (sin aplicación de fertilizante), II (con aplicación de  $6.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de biosólido) y III (con aplicación de  $9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de biosólido).

**Figura 2. Número de granos por vaina (uno) en el total de muestreos realizados**

Estudios realizados en el municipio Majibacoa en variedades de frijol negro reportan valores de 4.1 a 5.8 granos por vainas (30). Este comportamiento es un indicador también del carácter individual de cada cultivar ya que el número de granos por vaina varía entre 3 y 9, aunque generalmente oscilan de 5 a 7 (31).

Como resultado de la cosecha, a los 90 días de establecido el frijol (Figura 3) se apreció diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) entre los tratamientos en estudio, la mayor aplicación de biosólido ( $9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) presentó el mayor rendimiento ( $2.40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), lo que indicó que los biosólidos empleados son residuos ricos en nutrientes esenciales para las plantas (N, P), (32), estos mismos autores señalan que la digestión anaeróbica degrada los componentes complejos a formas moleculares más simples como  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$  facilitando la asimilación más efectiva de estos nutrientes por el sistema radicular de las plantas, favoreciendo un aumento notable en el rendimiento final de la cosecha.



\*\*\*  $p < 0.001$ ; letras no comunes en columnas difieren según Duncan (17, 21)

I (sin aplicación de fertilizante), II (con aplicación de 6.8 t.ha<sup>-1</sup> de biosólido) y III (con aplicación de 9 t.ha<sup>-1</sup> de biosólido)

**Figura 3. Rendimiento del frijol posterior a la cosecha (t.ha<sup>-1</sup>)**

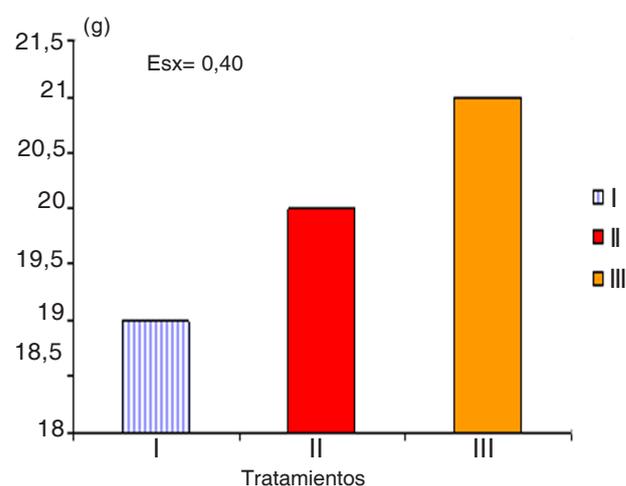
Los abonos orgánicos de origen vegetal o animal tienen la capacidad de mejorar la fertilidad del suelo y por ende la producción y productividad de los cultivos (33), afirmación que se corresponde con lo obtenido en el estudio realizado.

Resultados en la provincia de Las Tunas señalan que con aplicación de urea (0.8 t.ha<sup>-1</sup>) como fertilizante en el cultivo del frijol (variedades rojas) se obtuvo el mayor rendimiento (2.32 t.ha<sup>-1</sup>) (34), resultado que se corresponde con los obtenidos en el presente trabajo (2.40 t.ha<sup>-1</sup>) pero utilizando solo biosólido (9 t.ha<sup>-1</sup>) como abono orgánico.

Los rendimientos mundiales no superan las 1.4 t.ha<sup>-1</sup>, mientras que en Cuba se alcanza menos de 1 t.ha<sup>-1</sup>, invirtiéndose anualmente más de 32 800 000 dólares en la compra de alrededor de 140 000 t de granos (35).

El mayor tamaño y peso de las semillas se obtiene en el punto de madurez fisiológica y está relacionado con el vigor y la pureza varietal (36). El peso de 100 semillas (Figura 4) se comportó de forma similar para todos los tratamientos en estudio, con valores de 19, 20 y 21 g respectivamente. Resultados que se corresponden con la evaluación de nueve cultivares de frijol rojo obteniendo un peso promedio de 17.60 a 30.11g (37), al igual que otros autores quienes alcanzaron valores de peso entre 21.00 y 30.15 g para variedades rojas en la zona Centro Oriental de Cuba (CCS "Capitán San Luis") (38).

*Factibilidad económico-ambiental del biosólido como abono orgánico.* La aplicación agrícola de los biosólidos está basada en satisfacer los requerimientos de nitrógeno de los cultivos, previniendo la sobreaplicación de metales pesados, lo que ha mostrado ser una forma efectiva de reutilizar benéficamente productos residuales. Es un excelente recurso que puede ser usado como abono orgánico suplementario, permitiendo al agricultor obtener mayores ingresos al reducir los costos por fertilización, es una opción viable desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.



I (sin aplicación de fertilizante), II (con aplicación de 6.8 t.ha<sup>-1</sup> de biosólido) y III (con aplicación de 9 t.ha<sup>-1</sup> de biosólido)

**Figura 4. Peso de 100 semillas para cada uno de los tratamientos (g)**

En las Tablas VI y VII se evidencian los aportes de nutrientes que ofrece el biosólido y cuánto se ahorra por concepto de compra de fertilizantes químicos.

**Tabla VI. Aporte en nutrientes del biosólido y beneficios en un año**

Consumo en 1 ha (t)			Fertilizante equivalente (t)		
Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Urea	Superfosfato triple	Cloruro de potasio
0.0022	0.0015	0.0008	0.046	0.040	0.0027

**Tabla VII. Cantidades equivalentes a fertilizantes químicos y costo unitario**

Fertilizantes	Cantidad anual equivalente (t)	Costo unitario (Mn) (moneda total \$t <sup>-1</sup> )	Ahorro por concepto de sustitución de fertilizante químico (Mn) (moneda total \$año <sup>-1</sup> )
Urea	0.046	\$ 331.69	\$ 15.28
Superfosfato triple	0.040	\$ 1368.40	\$ 54.73
Cloruro de potasio	0.027	\$ 741.09	\$ 20.00

Los mayores constituyentes de los biosólidos están representados por la materia orgánica oxidable (MO), el calcio (Ca), el nitrógeno (N) y el fósforo (P), condicionado por la alta carga orgánica presente en las excretas del ganado porcino y vacuno principalmente, en relación directa con la base alimentaria de estas especies.

En la Tabla VIII se muestran algunas características químicas de la capa superficial del suelo después de ser cosechado el frijol. Se observan, principalmente, incrementos en el contenido de materia orgánica (colocándolo en una categoría alta, superior a 4 %) (39), así como en algunos macro y micro nutrientes (P, Ca) en los tratamientos que recibieron mayor dosis de biosólido.

**Tabla VIII. Características químicas del suelo posterior a la cosecha de frijol**

Tratamientos	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	K <sub>2</sub> O	M.O (%)	Ca	Mg cmol/kg	Na	K	CE dS/cm
Control	7.2	10	80	3.22	8.65	7.98	0.18	1.78	0.30
Biosólido (6.8 t.ha <sup>-1</sup> )	7.1	>10	>80	3.50	9.06	7.18	0.16	1.90	0.33
Biosólido (9 t.ha <sup>-1</sup> )	7.0	>10	>80	4.72	12.36	6.25	0.16	2.26	0.34

El incremento del contenido de materia orgánica facilita la formación de agregados estables y el aumento de la porosidad, permitiendo así que el agua penetre en el suelo y se mueva dentro de él (40).

Los cambios presentados en la estabilidad estructural del suelo pueden ser atribuibles a iones floculantes como el calcio y agentes cementantes como la materia orgánica presente en los biosólidos. Los iones de calcio favorecen la formación de agregados del suelo al mantener unidas las arcillas y la materia orgánica; una función comparable con la que cumplen los óxidos de Fe y Al (40).

Para el caso del pH cada dosis de biosólido aplicada ocasionó una disminución de este. Los efectos de la aplicación de biosólido en el pH del suelo, pueden ser variables y esta variación puede deberse al desprendimiento de CO<sub>2</sub> y posterior conversión en H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, a la mineralización del nitrógeno orgánico y su subsiguiente transformación en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y a la presencia de cationes básicos contenidos en los residuos orgánicos, entre otros (41).

## CONCLUSIONES

Los indicadores fenológicos diámetro del tallo y altura de la planta se comportaron de manera favorable con las dos dosis del biosólido aplicada, mientras que la cantidad de vainas respondió de la misma manera solo a la mayor dosis (9 t.ha<sup>-1</sup>). La cantidad de granos por vaina resultó superior en los dos tratamientos donde se aplicó biosólido (6.8 y 9 t.ha<sup>-1</sup>), finalmente el rendimiento fue superior para los tratamientos con aplicación de biosólido en 0.65 t.ha<sup>-1</sup>. Se puede entonces considerar a los biosólidos de residual pecuario utilizados en esta investigación aptos para ser aplicados en la agricultura como fuente de materia orgánica y nutrientes que contribuye a mejorar propiedades del suelo.

## REFERENCIAS

- Seoáñez, C. M. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona: 2008. p.180.
- Soliva, M. Compostatge i gestió de residus orgànics. Estudis i Monografies 21. Diputació de Barcelona. *Àrea de Medi Ambient, Barcelona*: 2006. p. 46.
- Medina, N. La biofertilización como alternativa dentro de la agricultura sostenible. En: IV Simposio Internacional sobre caracterización y manejo de micorrizas rizosféricas. INCA, La Habana, Cuba, 2004. p. 207.
- Martínez, J. y Viera, R. Efectividad de biofertilizantes cubanos sobre los cultivos de arroz y algodón en la República de Colombia. En: Programas y Resúmenes del XIII Congreso Científico del INCA. La Habana, Cuba, 2002. p. 64.
- Vergara, S. M.; Etchevers, J. y Padilla, J. La fertilidad de los suelos de ladera de la sierra norte de Oaxaca, México. [en Línea] 2006. [Consultado julio-2011]. Disponible en <<http://biblioteca.universia.net>>.
- Barbarick, K. A. e Hipólito, J. A. Nitrogen fertilizer equivalency of sewage biosolid applied to dryland winter wheat. Argentina : Editorial El Ateneo. *J. Environ. Qual.*, 2006, vol. 29, p. 1345-1351.
- Ahtesaari, M. La ordenación forestal Sostenible en Finlandia, evaluación y posibilidades. *Unasilva*, 2006, vol. 51, no. 1, p. 56.
- MINAGRI. Instructivo técnico del cultivo del tomate. La Habana, 1999. 32 p.
- NOM-004-ECOL-2001. Norma Oficial Mexicana, Protección Ambiental; lodos y biosólidos; especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. SEMANAT. Publicado en el Diario Oficial de la Federación [18 febrero, 2002].
- MINAG. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana. Agrinfor. 1999. 64 p.
- Proagro. Cultivos Sanos. Productos. Blvd. M. de Cervantes Saavedra No. 259 - Col. Granada - 11520 México, D.F. no. 259-Col. Granada-11520. 2009. [Consultado 5/5/2010]. Disponible en: <<http://www.proagro.com.mx/prods/bayer/bayer78.htm>>.
- Sayas, F. Entomofauna cubana. Tomo VII. Editorial Científico-Técnica. La Habana: 1988. 259 p.
- Peña, L. T.; Carrión, M.; Martínez, F.; Rodríguez, A. y Companioni, N. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. La Habana : Santiago de las Vegas. INIFAT- Grupo Nacional de Agricultura Urbana, 2007. p. 28-36.
- Primavesi, A. Manejo ecológico del suelo. 5ta edición. Ateneo, Argentina. 499 p.
- Hernandez, G. y Rodríguez, S. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. Reunión Nacional de Metodologías de la Investigación Agroquímica. Ponencias. La Habana : ACC. 1984. p. 1-7.
- MINAGRI. Guía Técnica para el cultivo del frijol en Cuba. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". La Habana. Cuba, 2008. p. 18.
- Duncan, D. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 1955, vol. 11, no. 1.

18. Álvarez M. Influencia del estiércol bovino y humus de lombriz sobre algunas propiedades edáficas e indicadores del crecimiento y productividad del pimiento (*Capsicum annun*, L.) en condiciones de huerto intensivo. [Tesis de Maestría]. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 2006.
19. Utria, E. B.; Cabrera, J. A.; Escobar, I. M.; Morales, D.; Fernández, A. M. y Toledo, E. Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en la planta de tomate. Revista Chapingo. México. *Horticultura*, 2008, vol. 14, p. 38-39.
20. Jiménez, E. Productividad del frijol común en Costa Rica. [Consultado: 4/11/2010]. Disponible en: <[http://www.nacion.com/ln\\_ee/2008/junio/01/opinion1559336.html](http://www.nacion.com/ln_ee/2008/junio/01/opinion1559336.html)>. 2008.
21. Steel, R. G. D. y Torrie, J. H. Bioestadística, principios y procedimientos (2da Ed. 1ra ed. en español). McGraw-Hill (ed). México. *Internamericana*. 1988, 622 p.
22. Maclaren, R. G.; Clucas, L. M.; Taylor, M. D. y Hendry, T. Leaching of macronutrientes and metals from undisturbed soil treated with metal-spiked sewage sludge. 1. Leaching of macronutrientes. *Australian Journal of soil Research*, 2006, vol. 41, no. 3, p. 571-588.
23. Hernandez, M. Extracción y distribución de macronutrientes en el cultivo del tomate. Híbrido HA 3105. En. Congreso Científico del INCA (14:2004 nov.9-12:La Habana) Memorias CD-ROM. INCA.
24. Hernandez, R. Nutrición de plantas. En: libro de Botánica [on line]. 2007. [Consultado, 26/9/2009]. Disponible en: <<http://www.forest.ula.ve/-rubemhg/nutricionmineral>>.
25. Pérez, G. G.; Esteveo, I.; Cesar, P. y Damba, G. Evaluación de asociaciones de cultivo en rotación: frijol-girasol y boniato-maíz. *Centro Agrícola*, 2009, vol. 31, no. 3-4, p. 84-87.
26. Ramírez, R. O.; Ramos, M. y Palacio, S. R. Mejoramiento de la producción del frijol (*Phaseolus vulgaris*, L) con el uso de alternativas de fertilización. [Trabajo diploma]. Universidad «Oscar Lucero Moya». Piedra Blanca, Holguín. Cuba, 2010. p. 48-56.
27. Verástegui, I. y Mateo, B. Producción de biogás a partir de desechos orgánicos. Parte I. Planta piloto de biogás a escala familiar. ITINTEC. Lima. Perú, 1979. p. 81.
28. Hernandez, C. Control integrado de la pudrición del pie causada por *Sclerotium ralfsii* Sacc. en frijol y girasol. *Centro Agrícola*, 1997, vol. 24, no. 1, p. 21-25.
29. Ortiz, R.; Rios, H.; Ponce, M.; Agarica, Lydia; Chavez, F. y Cruz, M. Importancia del fitomejoramiento participativo de frijol en cooperativas agrícolas del occidente cubano. *Cultivos Tropicales*, 2008, vol. 29, no. 1, p. 11-16.
30. Hernández, L.; Hernández, Naivy; Soto, F. y Pino, María de los A. Estudio fenológico preliminar de seis cultivares de habichuela de la especie *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 1, p. 54-61.
31. Torres, A. Evaluación de 11 cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L) en el municipio Majibacoa [Tesis de Ingeniería]. Centro Universitario de Las Tunas. Cuba, 2006. p. 47-58.
32. Utria, E.; Inés, M.; Reynaldo, J. A.; Morales, D. y Goffe, Sandra. Los biosólidos de aguas residuales urbanas aplicados con diferentes frecuencias en las propiedades químicas y microbiológicas del suelo, el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 2008, vol. 29, no. 4, p. 5-11.
33. Socorro, Q.; Martín, A. y David, F. Granos. Talleres Gráficos de la Dirección de Publicaciones y Materiales Educativos del Instituto Politécnico Nacional. Tresgueras 27 Centro Histórico, México, 1998. DF. 318p
34. Palacios, L.; Montenegro, A. y Dalia, C. Efectos de cinco distancias y tres épocas de siembra sobre el crecimiento y rendimiento del Caupí rojo (*Vigna unguiculata* L. Walpers), Ciudad Darío, Matagalpa, 2006. 92 p.
35. Agronet. Guía técnica del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L). 2010. [Consultado julio de 2011]. Disponible en: <<http://www.infoagro.go.cr>>.
36. Olivares, J. P. Fijación biológica de nitrógeno. Estación Experimental del Zaidín, CSIC, Granada. España, 2008. p. 255-268.
37. Torres, R.; Soria, E.; Pérez, C. y García, J. Incrementos en la fijación de N<sub>2</sub> en el cultivo del frijol. [Consultado: julio de 2011]. Disponible en: <<http://www.w3c.org/TR/1999/REC-html>>. 2010.
38. USEPA (US Environmental Protection Agency). Standards for the use or disposal of sewage sludge. *Fed Regist*, 1993, vol. 58, p. 9248-9415.
39. Cairo, P. y Fundora, O. *Edafología*, Primera parte, cuarta edición, Editorial Félix Varela, La Habana: Cuba, 2007. 265 p.
40. Abad, M. Aprovechamiento del compost de residuos sólidos urbanos en agricultura. p. 53-En: Orozco, F. y Osorio, W., eds. Residuos orgánicos, aprovechamiento agrícola como abono y sustrato. Medellín: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2008. 151 p.
41. Barrera, L. El papel de la materia orgánica en el manejo integral de la fertilidad del suelo. p. 123-134. En: Triana, M.; Lara, R.; Gómez, M. I. y Peñaloza, G., eds. Manejo integral de la fertilidad del suelo. Bogotá DC.: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2007. 168 p.

Recibido: 9 de noviembre de 2010

Aceptado: 29 de julio de 2011

#### ¿Cómo citar?

Negrín Brito, Alejandro y Jiménez Peña, Yamilé. Evaluación del efecto agronómico del biosólido procedente de una planta de tratamiento por digestión anaerobia de residuales pecuarios en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L). *Cultivos Tropicales*, 2012, vol. 33, no. 2, p. 13-19. ISSN 1819-4087