

## Evaluación del impacto ambiental derivado del uso agrícola de biosólidos procedentes de aguas residuales pecuarias Evaluation of the derived environmental impact of the agricultural use of sludge coming from cattle wastewater

Yamilé Jiménez Peña, Levis A. Valdés González, Yania Pérez Gómez, Alejandro Negrin Brito

Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA). Carretera a Patria km 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, Morón, Ciego de Ávila, Cuba, CP 67210.

E-mail: yamile@ciba.fica.inf.cu

**RESUMEN.** El estudio de impacto ambiental derivado del uso de biosólidos como enmienda orgánica se evaluó sobre un suelo ferralítico rojo, en el cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en un área experimental de 140 m<sup>2</sup>, perteneciente al Centro de Investigaciones de Bioalimentos. Los biosólidos utilizados fueron obtenidos mediante un proceso de digestión anaerobia y su producción fue aproximadamente de 260 kg en base seca. Su procedencia es de origen pecuario (aproximadamente 150 animales, donde el 70% procede de excretas porcinas y el 30% de vacuno). Se identificaron cinco impactos ambientales, todos evaluados con carácter positivo y una alta significación, aspectos que permiten validar el uso y reciclaje de éstos como una alternativa viable y sostenible para la agricultura. Además, las propiedades químicas del suelo objeto de estudio mejoraron considerablemente con la aplicación de este residuo.

**Palabrac clave:** Biosólidos, impacto ambiental, uso agrícola

**ABSTRACT.** The study of derived environmental impact of the sludge use organic amendment was evaluated on red ferralitic soil, in the cultivation of Bean (*Phaseolus vulgaris* L), in an experimental area of 140 m<sup>2</sup>, belonging to the Center of Investigations of Bioalimentos. The used sludge was obtained by means of a process of digestion anaerobia and their production was approximately of 260 kg in dry base. Their origin is of cattle origin (approximately 150 animals, where 70% proceeds of you excrete swinish and 30% of bovine). five environmental impacts were identified, all evaluated with positive character and a high significance, aspects that allow to validate the use and reciclaje of these like a viable and sustainable alternative for the agriculture. Also, the chemical properties of the floor study object improved considerably with the application of this residual.

**Keywords:** Sludge, impact environmental, agricultural use

## INTRODUCCIÓN

Los suelos agrícolas sufren un desequilibrio en el mantenimiento de niveles estables de materia orgánica (MO) debido a diversas razones (excesivo laboreo, producción intensiva, uso de fitosanitarios, deforestaciones irracionales, incendios forestales, pastoreo inadecuado, etc.), ocasionando una disminución de la fertilidad natural del horizonte superficial, más acentuada en regiones con poca producción de biomasa. Como consecuencia de ello se presentan problemas ambientales tales como mayor erosión, poca infiltración y menor capacidad de almacenamiento de agua, dificultad para el desarrollo radical y deficiente establecimiento de poblaciones microbianas benéficas (Dalal y Mayer, 1986, Azevedo et al., 2003).

En este sentido, Canet et al., 1996 y Andrade, 1999 han reportado que el uso de biosólidos como fuente de materia orgánica mejora las propiedades tanto físicas como químicas del suelo agrícola, además aporta cantidades significativas de nitrógeno y fósforo que contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes químicos (Porta et al., 1999, Muñoz et al., 1999).

Es por ello, que 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 moderna, por la agricultura biológica ó agroecológica (Medina, 2004; Funes, 2009).

Un ejemplo que contribuye con el desarrollo de una agricultura orgánica y sostenible es el empleo de tecnologías de digestión anaerobia para el tratamiento de residuales de origen, pues este sistema genera como uno de sus productos finales el llamado biosólido, materiales orgánicos ricos en nutrientes (Alaerts et al., 1993; Utria et al., 2008), que generalmente se desecha, sin valorar su posible aprovechamiento (Seoánez, 2000; Soliva, 2001).

En el contexto de protección ambiental, los impactos generados dependerán del manejo que se establezca con la disposición final de los residuales tratados y/

o no tratados (CITMA, 2002). En el documento conocido como Agenda 21, de la Cumbre de la Tierra, se plantea la adopción de la Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) como procedimiento metodológico generalizado para la concepción estratégica del desarrollo sostenible (AMA, 2002). Por lo antes expuesto el objetivo que se persigue con esta investigación es: Identificar y evaluar el impacto ambiental derivado del uso como enmienda orgánica del biosólido procedente de una planta de tratamiento por digestión Anaerobia en la producción del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) así como su influencia en algunas propiedades químicas edáficas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material empleado como enmienda orgánica estuvo compuesto por biosólidos generados en la planta de tratamiento con tecnología de digestión anaerobia del Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA), ubicado en la carretera Patria Km 1½, municipio

Morón, provincia Ciego de Ávila. Su procedencia es de origen pecuario aproximadamente 150 animales, donde el 70% corresponde a excretas porcinas y el 30% de vacuno). Las propiedades físico-químicas y microbiológicas se refieren en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1. Propiedades físico-químicas de los biosólidos procedentes de la planta de tratamiento por digestión anaerobia del Centro de Investigaciones en Bioalimentos (expresados en base seca)**

Indicador		Promedio	Intervalo de confianza	Indicador		Promedio	Intervalo de confianza
M. O	%	53.0	54.49 - 51.51	Cd	mg/ kg	0.7	0.8-0.6
Ca		8.8	9.49 - 8.11	Cr		7.31	7.7-6.9
N		2.2	2.48 - 1.92	Cu		4.27	4.97-3.57
P		1.5	1.64 - 1.36	Co		0.35	45-0.25
Mg		1.2	1.44 - 0.96	Ni		0.90	1.00-0.8
K		0.8	0.9 - 0.7	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				

Unidad de medida: mS/cm (Microcien/centímetro)

**Tabla 2. Características microbiológicas de los biosólidos procedentes de la planta de tratamiento por digestión anaerobia del Centro de Investigaciones en Bioalimentos (expresados en base seca)**

Indicadores	Contenido	USEPA, 1993	
		Nivel de microorganismos patógenos aceptable en biosólidos	
		Biosólido Clase A	Biosólido Clase B
Coliformes Fecales NMP/4gmuestra en base seca	< 1000	< 1000	< 1000
<i>Salmonella</i> spp. NMP/4g muestra en base seca	ausente	< 3	< 3
Huevos de Helminto /g muestra en base seca	< 1	< 1	< 10

El estudio se realizó sobre un suelo ferralítico rojo, en un área experimental de 140m<sup>2</sup>. (tabla3)

**Tabla 3. Características físico - químicas del suelo en el área experimental**

Indicador	Unidad de medida	Contenido
M.O	%	2.61
Humedad		11.26
pH	-	7.30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100g	17.28
K <sub>2</sub> O		48.30
Ca	(cmol/Kg)	11.20
Mg		2.24
Na		0.16
K		1.04
UT		15.36
CE		(mS/cm)

Leyenda: M.O (materia orgánica), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (pentóxido de fósforo), K<sub>2</sub>O(óxido de potasio, Ca (calcio), Mg(magnesio) Na (sodio), K (potasio) UT (unidad de transferencia),CE (conductividad eléctrica)

Para la aplicación del biosólido al suelo como enmienda orgánica se tomó como patrón su contenido de nitrógeno (Peña, *et al.* 2002), para ello se utilizó un diseño de bloque al azar con tres tratamientos:

- I. Suelo sin aplicación de fertilizante.
- II. Suelo con aplicación de 150 kg/ha/N (6.8 t/ha de biosólido).
- III. Suelo con aplicación de 200 kg/ha/N (9 t/ha de biosólido).

Una vez identificados y nominados los impactos ambientales generados por el uso del biosólidos como enmienda orgánica, se evaluó por Matriz de Evaluación Rápida de Impactos Ambientales (Rapid Impact Assessment Matriz, RIAM), la cual constituye un sistema de puntuación que permite cuantificar juicios subjetivos asociados a efectos sobre distintos componentes ambientales. Su evaluación toma en cuenta la magnitud, el alcance o extensión y la naturaleza del efecto. (Pastakia, 1998; Olsen y Olsen, 1998; DHI Water & Environment, 2000)

Los criterios de evaluación se ubicaron en dos grupos principales:

(A) Criterios relacionados con la importancia de la condición y que pueden cambiar

individualmente la puntuación obtenida.  
(B) Criterios que son de valor para la situación, pero que individualmente no son capaces de cambiar la puntuación obtenida.

Estos criterios, con la correspondiente escala de puntuación para juzgar, son definidos como:

Criterios del grupo (A):  
(A1) Importancia de la condición. Una medida de la importancia de la condición, es que es evaluada contra las fronteras espaciales o intereses humanos que afectará. Las escalas son definidas:  
4=Importante para intereses nacionales/internacionales  
3= Importante para intereses regionales/nacionales  
2= Importante para áreas inmediatamente fuera de la condición local  
1= Importante solo para la condición local  
0= Sin importancia

(A2) Magnitud del cambio/efecto. Magnitud definida como una medida de la escala de beneficio/perjuicio de un impacto o una condición:  
+3= Gran beneficio  
+2= Mejora significativa del status quo  
+1= Mejora del status quo  
0= Sin cambio  
-1= Cambio negativo en el status quo  
-2= Cambio negativo significativo  
-3= Gran perjuicio o cambio

Criterios del grupo (B):  
(B1) Permanencia. Define si una condición es temporal o permanente, y debe ser visto solo como una medida del estado temporal de la condición.  
1= Sin cambio/no aplicable  
2= Temporal  
3= Permanente

(B2) Reversibilidad. Define si la condición puede ser cambiada y es una medida del control sobre el efecto de la condición. No debe ser confundido con permanencia  
1= Sin cambio/no aplicable  
2= Reversible  
3= Irreversible

(B3) Acumulación. Es una medida donde se evalúa si el efecto tendrá un impacto simple directo o si

habrá un efecto acumulativo en el tiempo o un efecto sinérgico con otras condiciones. El efecto acumulativo es una forma de juzgar la sustentabilidad de una condición, y no debe ser confundido con una situación permanente o irreversible.

1= Sin cambio/no aplicable

2= No acumulativo/simple

3= Acumulativo/sinérgico

El RIAM requiere la evaluación específica de componentes que deben ser definidos durante el proceso y estos componentes ambientales se desglosan en cuatro categorías:

**Físico-Química (PC):** Cubre todos los aspectos físico-químicos del ambiente, incluyendo los recursos naturales no bióticos (finitos) y la degradación del ambiente físico por la contaminación.

**Biológica-Ecológica (BE):** Cubre todos los aspectos biológicos del ambiente, incluyendo los recursos naturales renovables, conservación de la biodiversidad, interacciones interespecíficas y contaminación de la biosfera.

**Socio-Cultural (SC):** Cubre todos los aspectos humanos del ambiente, incluyendo las cuestiones sociales que afectan a individuos y comunidades, junto a los aspectos culturales, incluyendo la conservación del acervo cultural y el desarrollo humano.

**Económica-Operacional (EO):** Identifica cualitativamente las consecuencias económicas de los cambios ambientales, tanto temporales como permanentes, así como las complejidades del manejo de proyectos dentro del contexto de sus actividades.

Tabla 4. Sistema numérico empleado por el método RIAM para la evaluación de impactos

Rangos de bandas usados por Promedio (ES)	Rango de valores Alfabético	Rango de (RV)	Rango de valores Numérico	Criterios de Evaluación
108- 72	E		5	Mayor impacto positivo
71-36	D		4	Impacto positivo significativo
35-19	C		3	Impacto positivo moderado
18- 10	B		2	Impacto positivo
9- 1	A		1	Impacto positivo insignificante
0	N		0	Ningún cambio/status quo/no aplicable
-1 a -9	-A		-1	Impacto negativo insignificante
-10 a -18	-B		-2	Impacto negativo
-19 a -35	-C		-3	Impacto negativo moderado
-36 a -71	-D		-4	Impacto negativo significativo
-72 a -108	-E		-5	Mayor impacto negativo

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se adoptó un enfoque paisajístico en la planta de tratamiento del Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA), la cual se considera un sistema geoecológico abierto, ubicado en el municipio Morón, provincia Ciego de Ávila, en interacción con tres subsistemas (abióticos, bióticos y socioeconómicos).

En la estructura horizontal se tuvo en cuenta los sistemas ubicados, la interrelación entre ellos y con los alrededores, partiendo de que esa zona es un

sistema abierto compuesto por: Instalaciones pecuarias, el hombre, animales, Vegetación, Planta de tratamiento.

La estructura vertical comprende el vertimiento y disposición final de los efluentes derivados de la planta de tratamiento (biosólidos).

Al hacer una caracterización del paisaje, los biosólidos fueron evaluados como enmienda orgánica en el cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*

L.) para demostrar científicamente su dinámica en el comportamiento de los indicadores fenológicos del cultivo, arrojando en este sentido, resultados alentadores en cuanto altura de planta, diámetro del tallo, cantidad de vainas por plantas y granos por vaina y con un rendimiento productivo de hasta 2,5t con la mayor aplicación de biosólido superando al testigo en 0.80 t/ha.

Una vez obtenido los resultados antes expuestos, se efectuó la caracterización química del suelo, para determinar en que medida la aplicación de biosólidos benefició sus propiedades. En la tabla 5 se refieren algunas características químicas de la capa superficial del suelo, después de que el cultivo de frijol hubo completado su ciclo. Se notan incrementos en el contenido de Materia Orgánica, Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Potasio (K<sub>2</sub>O), Calcio (Ca),

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE), en los tratamientos que se aplico biosólidos.

Con la aplicación de biosólidos al suelo, hubo una disminución de las concentraciones de sodio, situación que pudo favorecer a que los agregados del suelo fueran más estables y el medio óptimo para el crecimiento de las raíces de las plantas. (Porta *et al.*, 1999)

Por otro lado, las evidencias de los incrementos de producción hasta 2.5t de frijol con la incorporación de los biosólidos (9t/ha) no son solamente el resultado de un mayor aporte de nutrientes al cultivo, sino que son producto a las mejoras en las propiedades físicas y químicas del suelo receptor de estos materiales orgánicos (Cunningham *et al.*, 1975; Seoáñez, 2000, Soliva, 2001)

**Tabla 5. Características químicas del suelo ferralítico rojo después de obtenida la cosecha de frijol fertilizado con biosólido**

Tto	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	M.O	Ca	Mg	Na	K	CIC	CE
		(mg/100g)	(%)	cmol/kg						dS/cm
Control	7.2	10	80	3.22	8.65	7.98	0.18	1.78	18.59	0.30
Biosólido (6.8T/ha)	7.1	>10	>80	3.50	9.06	7.18	0.16	1.90	18.30	0.33
Biosólido (9t/ha)	7.0	>10	>80	4.72	12.36	6.25	0.16	2.26	21.03	0.34

Teniendo en cuenta los elementos antes expuestos y el enfoque de estudio de impacto ambiental como proceso evolutivo, sistemático y multidisciplinario, se definió como escenario: Biosólidos como enmienda orgánica y tres componentes ambientales: Físico-Químico(PC), Económico Operacional (EO), Socio

cultural (SC) que fueron evaluados a través de una matriz con ayuda del Software RIAM, lo que demostró que cada uno de los componentes evaluados, corroboran que la aplicación de biosólidos es una alternativa ambientalmente sostenible y viable para la agricultura:

Physical and chemical components (PC)		ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
PC1	Variación de las características químicas de los suelos	63	D	3	3	2	2	3
PC2	Cambio en los índices de degradación de los suelos	54	D	3	3	2	2	2
Sociological and cultural components (SC)		ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
SC1	Mejoras sociales asociadas al empleo de biosólidos	54	D	3	3	2	2	2
Economical and operational components (EO)		ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
EO1	Cambio de las importaciones por la sustitución de fertilizantes químicos	42	D	2	3	3	2	2
EO2	Cambio en la productividad y la eficiencia en la actividad agrícola	72	E	3	3	3	2	3

Resumen de los datos obtenidos y los impactos obtenidos con esta enmienda. (Figura 1 y tabla 6)

Range	-108	-71	-35	-18	-9	0	1	10	19	36	72
	-72	-36	-19	-10	-1	0	9	18	35	71	108
Class	-E	-D	-C	-B	-A	N	A	B	C	D	E
PC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
BE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
EO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1

Option summary

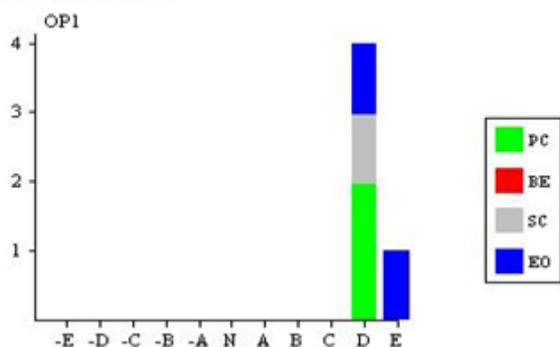


Figura 1. Resultados de la evaluación de impactos ambientales utilizando Software RIAM

2.La aplicación de biosólidos como enmienda orgánica incidió positivamente en el comportamiento de los indicadores químicos del suelo y contribuyó de manera favorable en la productividad agrícola del cultivo de frijol.

### BIBLIOGRAFÍA

1. ACTAF: Memorias del Sexto Encuentro Nacional de Agricultura orgánica, La Habana, 2006.

2. Alaerts, G.J.; Veenstra, S.; Bentvelsen, M. and van Duijl, L.A.: Feasibility of Anaerobic Sewage treatment in sanitary strategies in Developing Countries. Water. Sci. Tech. 27(1):179-186, 1993.

3. Alberti, Juli, Buxó y A. González: Contaminación del suelo. Utilización excesiva de fertilizantes. Girona. España, 1997.

4. Altieri, M.A. Agroecología: Bases científicas para una Agricultura Sustentable. Pub., CLADES-ACAO. La Habana, 1997.

5. Alvarez E.A., Mochon M.C., Sanchez J.C.J. y Rodríguez M.T.: Heavy metals extractable form in sludge from wastewater treatment plants. Chemosphere 47: 765-775, 2002.

Tabla 6. Identificación y valoración del impacto ambiental derivado del uso del biosólido como enmienda orgánica

Impacto Ambiental	Rango de valores (RV) Alfabético	Valoración
Disminución de las importaciones por la sustitución de fertilizantes químicos	E	Mayor impacto positivo
Mejoras de las características químicas de los suelos	D	Impacto positivo significativo
Disminución de los índices de degradación de los suelos	D	Impacto positivo significativo
Aumento de la productividad y la eficiencia en la actividad agrícola	D	Impacto positivo significativo
Mejoras sociales asociadas al alcance de alternativas de fertilización con garantía de salud para los campesinos	D	Impacto positivo significativo

### CONCLUSIONES

1. Los impactos ambientales obtenidos demostraron que el biosólido es una alternativa viable y sostenible para la agricultura cubana.

6. Andrade, M. L.; M, Quintero.; M, Reisabal y J, Estévez : Composición de Materia Orgánica y Determinación de metales biosólidos para su uso potencial como abono, 1999.

7. Azevedo M.L., Ferracciú L.R. y Guimaraes L.R.: Biosolids and heavy metals in soils. *Sci. Agric.* 60:793-806, 2003.
8. Cairncross, S. y Mara, D.: Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, p 210, 1990.
9. Canet R, Pomares E, Estela M, Tarazona: E Efecto de los lodos de depuradora en la producción de hortalizas y las propiedades químicas del suelo. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 11: 83-99, 1996.
10. CITMA : Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Informe sobre el diagnóstico integral en instalaciones pecuarias. Cuba, 2002.
11. Dalal RC, Mayer RJ :Long –term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Aust. J. Soil Res.* 24: 281-292, 1986.
12. DHI Water & Environment. :Program for making an EIA using the Rapid Impact .Assessment Matrix (RIAM). RIAM Version Basic. Danish Hydraulic Institute (DHI) Water & Environment. En: Kurt Jensen (Ed.), *Environmental Impact Assessment Using the Rapid Impact Assesment Matrix (RIAM)*, Olsen & Olsen, Fredensborg, Dinamarca, p. 1- 69, 2000.
13. Funes-monzote, Fernando R: Agricultura con futuro. La alternativa agroecologica para Cuba, Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba, 2009.
14. J. Porta, M López. Acevedo y C. Roquero: Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Mundi Prensa. 2da Edición. México pp 674,1999.
15. Jiménez, Yamile: Caracterización del Biosólido procedente de una planta de tratamiento por digestión anaerobia del residual pecuario. *Perspectivas de utilización. Revista Computarizada de Producción Porcina* ISSN 1026-9053, Vol. 17, No.1, 2010
16. 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, p. 207, 2004.
17. Pastakia, C.M.R.:The Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) – A New Tool for Enviromental Impact Assessment. En: Kurt Jensen (Ed.), *Environmental Impact Assessment Using the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM)*, Olsen & Olsen, Fredensborg, Dinamarca. p. 8-18, 1998.
18. Pastakia, C.M.R. y J. Bay.: Initial Environmental Evaluation of Alternative Methods to Conserve Rupa Tal Lake, Nepal. En: Kurt Jensen (Ed.), *Environmental Impact Assessment Using the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM)*, Olsen & Olsen, Fredensborg, Dinamarca, p. 52-61, 1998.
19. Seoáñez, Calvo. M: Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona, 2000.
20. Soliva, M: Aplicación de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbana en la agricultura. IQPC. en Forum Internc sobre: tratamiento de lodos de depuradoras: su minimización, valorización y destino final .Madrid, p21, 2001.
21. Utria, E. B.; J, A. Cabrera.; I, M. Escobar.; D, Morales.; A, M. Fernández.; E, Toledo.: Utilización Agraria de los Biosólidos y su Influencia en la Planta de Tomate. *Revista Chapingo. México, serie Horticultura* 14 (j): p. 38 – 39, 2008.

Recibido: 08/10/2011

Aceptado: 12/02/2012