

Obtención de un mejorador de suelos como subproducto de la digestión anaerobia de desechos orgánicos en el TEC

Obtention of a soil improver as subproduct from the anaerobic digestion of organic residues at the Technological Institute of Costa Rica

Margie Faith Vargas¹

Olga Rivas Solano²

*Fecha de recepción: 15 de mayo del 2011
Fecha de aprobación: 23 de enero del 2012*

Faith, M; Rivas, O. Obtención de un mejorador de suelos como subproducto de la digestión anaerobia de desechos orgánicos en el TEC. *Tecnología en Marcha*. Vol. 25, N° 3. Julio-Setiembre 2012. Pág 19-27.

- 1 Estudiante de licenciatura en Biotecnología. Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: margiefaith@gmail.com
- 2 Profesora investigadora. Centro de Investigación en Biotecnología. Escuela de Biología. Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: orivas@itcr.ac.cr

Resumen

El tratamiento anaerobio de los desechos orgánicos permite obtener efluentes con propiedades biofertilizantes, además de biogás para la generación de energía renovable. El objetivo del presente estudio fue evaluar una mezcla de los efluentes de dos biodigestores a escala en el TEC para determinar su potencial uso como bioabono.

Se analizó la composición química y se encontró que el proceso de biodigestión aumentó el contenido de nutrientes. Se determinó la calidad microbiológica y se observó una disminución en el recuento de coliformes fecales pero no se alcanzó la concentración bacteriana mínima para garantizar una aplicación inocua a los cultivos de consumo directo.

Por otra parte, se realizaron ensayos en invernadero, aplicando tres tratamientos al cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). El primero consistió en fertilizar el cultivo con la mezcla de efluentes concentrada, el segundo con la mezcla diluida al 50% y el tercero con un fertilizante químico. Se analizó la altura de las plantas, el número de hojas, el peso fresco y el peso seco.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las tres primeras variables, pero no para la última. Se concluyó que el fertilizante químico produjo mejores resultados en el corto plazo, y que la aplicación del efluente diluido al 50% fue más efectiva que al 100%. Se recomienda utilizar los efluentes de los biodigestores a escala del TEC como mejoradores de suelos, tomando las medidas necesarias para garantizar su inocuidad.

Palabras clave

Efluente, mejorador de suelos, digestión anaerobia.

Abstract

Anaerobic treatment of organic wastes generates effluents with biofertilizer properties, besides biogas for renewable energy production. The purpose of this research was to evaluate a mixture of effluents obtained from two small scale biodigesters at the TEC, with the purpose of determining its potential use as biofertilizer.

We analyzed the chemical composition and found an increase in the nutrient content of the effluents after biodigestion. We also determined the microbiological quality and observed a decrease on the fecal coliform counting. However, the bacterial concentration was still too high for allowing a safe application to crops that are eaten raw.

Fertilization greenhouse essays were also performed using lettuce crop (*Lactuca sativa*). We tested three treatments. The first one consisted in fertilizing the crop with fully concentrated effluents, the second one with 50% diluted effluents and the third one with a chemical fertilizer. We analyzed plant height, leaf number, fresh weight and dry weight.

Statistically significant differences were found for the first three variables, but not for the last one. In conclusion, the chemical fertilizer produced better results in the short term and the 50% diluted effluent was more effective than the fully concentrated one. We recommend using the effluents from the TEC's biodigesters as soil improvers after applying a sanitary treatment to reduce their coliform counting to safe values.

Key words

Effluent, soil-improver, anaerobic digestion.

Introducción

La digestión anaerobia de los desechos orgánicos mediante biodigestores presenta muchas ventajas, una de ellas es la producción de biogás, el cual se puede transformar en energía calórica, lumínica y eléctrica. La tecnología anaerobia también ayuda a reducir las emisiones de dióxido de carbono al ambiente. Otra ventaja es la utilización del efluente de los biodigestores como fertilizante secundario en la agricultura (Weiland, 2000; Castillo, 2001; Gallert y Winter, 2002; Ebenezer *et al.*, 2007; Retana, 2006).

El residuo orgánico que se descarga del biodigestor (efluente) es un fluido cuya constitución varía dependiendo del contenido de la materia orgánica utilizada para alimentar el biodigestor, así como del tiempo de retención (Moncayo y Arrue, 2007). Según Soria *et al.* (2001), el pH de un bioabono es de aproximadamente 7.5 y la composición promedio de nutrientes es de 8,5% de materia orgánica, 2,6% de nitrógeno, 1,5% de fósforo y 1,0% de potasio.

La utilización del efluente de un biodigestor como abono orgánico permite un ahorro en la aplicación de otros fertilizantes químicos convencionales, sin disminuir la productividad de los cultivos. En comparación con suelos no abonados, la aplicación del efluente de un biodigestor aumenta la productividad sin dejar residuos tóxicos en el suelo. También funciona como tratamiento correctivo de la acidez de los suelos y como aditivo orgánico en la preparación de soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos (Mandujano *et al.*, 1981; Moncayo y Arrue, 2007; Castillo, 2001).

La dosis por aplicar del efluente o bioabono depende de su composición, del tipo de suelo y de las necesidades del cultivo. Por este motivo, es conveniente efectuar un análisis químico del efluente para establecer sus propiedades nutritivas (IICA, 2009).

En cuanto al aspecto sanitario, el tratamiento anaerobio de los desechos orgánicos elimina su acumulación en el ambiente y consecuentemente reduce la proliferación de moscas, mosquitos y roedores portadores de enfermedades peligrosas. Sin embargo, antes de aplicar un efluente como bioabono, se debe determinar su calidad microbiológica, la cual se estima principalmente mediante el recuento de bacterias coliformes. Los criterios de calidad sugeridos para el uso inocuo de los efluentes en la agricultura estipulan un contenido

menor a 1000 UFC/ml de coliformes fecales y menos de 1 huevo viable de nematodos intestinales por litro (Soria *et al.*, 2001; Cruz *et al.*, 2004).

Durante el 2009 y el 2010, en el Tecnológico de Costa Rica (TEC) se desarrolló un proyecto de investigación multidisciplinario denominado *Sistema de vigilancia, control y protección para la purificación, compresión y envasado de metano empleando comunicación inalámbrica bajo protocolos de seguridad OSHA, NFPA*, el cual fue financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión.

Como parte del componente biológico del proyecto, se procedió a evaluar las propiedades químicas, calidad microbiológica y efecto fertilizante de efluentes producidos en biodigestores a escala, con el objetivo de determinar su potencial uso como bioabono.

Materiales y métodos

Influentes y efluentes de los biodigestores a escala

Para esta investigación se utilizaron los influentes y efluentes de dos biodigestores a escala previamente instalados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Sede Central del TEC, Cartago. Las dimensiones de ambos biodigestores eran de 70 cm de largo, 37 cm de ancho y 40 cm de alto. Cada uno tenía una capacidad de 80 litros de fase líquida y 20 litros de fase gaseosa.

Los biodigestores se alimentaron manualmente durante cuatro meses, agregando una combinación de agua residual y lirios acuáticos (*Eichhornia crassipes*) previamente triturados y desecados; estos se agregaron a razón de 200 g por cada 7,5 l del agua residual. El tiempo de retención se estableció en diez días.

Análisis de la composición química de los influentes y efluentes de los biodigestores a escala

Se mezclaron los influentes de los dos biodigestores a escala y se tomó una muestra de 2 l. Lo mismo se hizo con los efluentes. Las muestras se procesaron en el Laboratorio Químico y de Control de Calidad Industrial AQYLA S. A., en donde se determinó el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Determinación de coliformes en los influentes y efluentes de los biodigestores a escala

Las mezclas de los influentes y efluentes se diluyeron de forma seriada, hasta 10^{-5} y 10^{-3} respectivamente, utilizando solución salina estéril al 0,85%. Las diluciones se sembraron por extensión en placas de Agar Eosina y Azul de Metileno (EMBA) (OXOID®), el cual es un medio selectivo y diferencial para coliformes. Se realizaron tres repeticiones por dilución. Las placas se incubaron durante 24 h a $36 \pm 1^\circ \text{C}$ y el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) se realizó manualmente, interpretando los resultados de acuerdo con las especificaciones del fabricante del medio de cultivo.

Ensayos de fertilización en invernadero utilizando el cultivo de lechuga (*L. sativa*)

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Cada repetición estaba formada por 30 plantas de lechuga. Para la siembra de los almácigos de lechuga se utilizaron 270 macetas plásticas de 13 cm de diámetro, las cuales se llenaron con aproximadamente 250 g de tierra mezclada con granza. Las macetas se distribuyeron en las camas del Invernadero de Docencia de la Escuela de Biología del TEC. Cada tratamiento se colocó en un espacio de 1,0 m x 1,58 m; poniendo las macetas a una distancia de 27 cm entre hileras y 20 cm entre plantas.

El cuadro I describe los tratamientos que se evaluaron en esta investigación.

Cuadro I. Descripción de los tratamientos evaluados para determinar el efecto fertilizante de la mezcla de efluentes en plantas de lechuga

Tratamiento	Descripción
T1	Mezcla de efluentes al 100%
T2	Mezcla de efluentes al 50% diluida con agua
T3 (testigo)	Fertilizante químico de formulación 10-30-10 (N, P, K)

Los tratamientos T1 y T2, por ser líquidos, se vertieron superficialmente en cada maceta con ayuda de una probeta (figura 1A) y se aplicaron al momento de la siembra, así como 22 días después. El tratamiento T3, por ser granulado, se aplicó al voleo alrededor de cada almácigo (figura 1B) únicamente al momento de la siembra.

El periodo de cultivo comprendió seis semanas, durante las cuales el riego se realizó manualmente tres veces por semana. Además, se utilizó el insecticida-acaricida TALSTAR® debido a la presencia de áfidos (*Mysus persicae*) en algunas plantas. Dicho producto se aplicó de manera preventiva a todo el cultivo, diluyendo en agua a razón de 1 ml/l.

Se evaluaron cuatro variables de crecimiento en las plantas de lechuga: altura de planta (cm), número de hojas, peso fresco y peso seco (g). La evaluación



Figura 1. A. Aplicación de T3 (abono granulado 10-30-10). B. Aplicación de T1 y T2 (efluente líquido).

Cuadro 2. Análisis químico nutricional realizado al influente y al efluente de los biodigestores

Nutriente	Influente (mg/l)	Efluente (mg/l)
Nitrógeno total	22,8 ± 0,5	70,3 ± 0,7
Fósforo total	60,7 ± 0,7	72,0 ± 0,6
Potasio	1072 ± 80	13530 ± 200

de dichas variables se realizó semanalmente con excepción del peso fresco y peso seco, los cuales se determinaron al final del periodo de cultivo.

El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa Minitab®. Para cada variable se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente una prueba de Tukey.

Resultados y discusión

Composición química de los influentes y efluentes de los biodigestores a escala

El cuadro 2 detalla los resultados del análisis químico. Los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio aumentaron considerablemente después del proceso de digestión anaerobia, siendo el potasio el que presentó el mayor incremento.

De acuerdo con Valdés *et al.* (1999), los incrementos de nitrógeno y fósforo, dos de los macronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, mejoran la calidad del efluente, ya que la digestión anaerobia degrada componentes complejos a formas moleculares más simples como amonio, nitrato y pentóxido de fósforo, favoreciendo la asimilación de estos nutrientes por el sistema radicular de las plantas.

Por el contrario, en un estudio realizado por Arévalo y Zambrano (2007), se observó una reducción de estos elementos al finalizar la biodigestión. Mientras que en otra investigación de Soria *et al.* (2001) se encontró que el potasio fue el único elemento que incrementó su contenido al finalizar el proceso.

Calidad microbiológica de los influentes y efluentes de los biodigestores a escala

De acuerdo con el fabricante del medio de cultivo EMBA, las colonias de color morado con verde metálico corresponden a *Escherichia coli*, mientras que las colonias moradas con aspecto mucoso se clasifican como *Enterobacter aerogenes*. Ambas bacterias pertenecen al grupo de los coliformes fecales. El cuadro 3 presenta los resultados del recuento bacteriano en los influentes y efluentes.

De acuerdo con estos datos, hubo una disminución del recuento bacteriano en los efluentes con respecto a los influentes. Sin embargo, los criterios de calidad sugeridos para el uso inocuo de aguas residuales en agricultura establecen un contenido menor a 1000 UFC/ml de coliformes fecales, por lo que los valores obtenidos no permiten la aplicación inocua del efluente a cultivos de consumo directo (Cruz *et al.*, 2004. Corlay *et al.*, 2009).

Los resultados obtenidos en esta investigación son semejantes a los de Palacios (2005), quien detectó una escasa reducción en la carga de coliformes fecales y presencia de bacterias de los géneros *Escherichia*, *Proteus*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Sin embargo, en otros estudios sí se ha logrado una eliminación eficiente de coliformes, incluso hasta un 100% de remoción de estas bacterias (Soria *et al.*, 2001, Cruz *et al.*, 2004).

Para poder utilizar los efluentes en actividades agrícolas, se sugiere complementar el sistema de digestión anaerobia con otro tratamiento posterior, como por ejemplo un sistema de canales de plantas acuáticas como paso complementario al tratamiento

Cuadro 3. Recuento de coliformes fecales en los influentes y efluentes de los biodigestores a escala del TEC

Bacteria	Recuento (UFC/ml)	
	Influente	Efluente
<i>Escherichia coli</i>	$(1,50 \pm 0,37) \times 10^5$	$(1,86 \pm 0,22) \times 10^3$
<i>Enterobacter aerogenes</i>	$(3,80 \pm 0,18) \times 10^5$	$(2,90 \pm 0,16) \times 10^3$

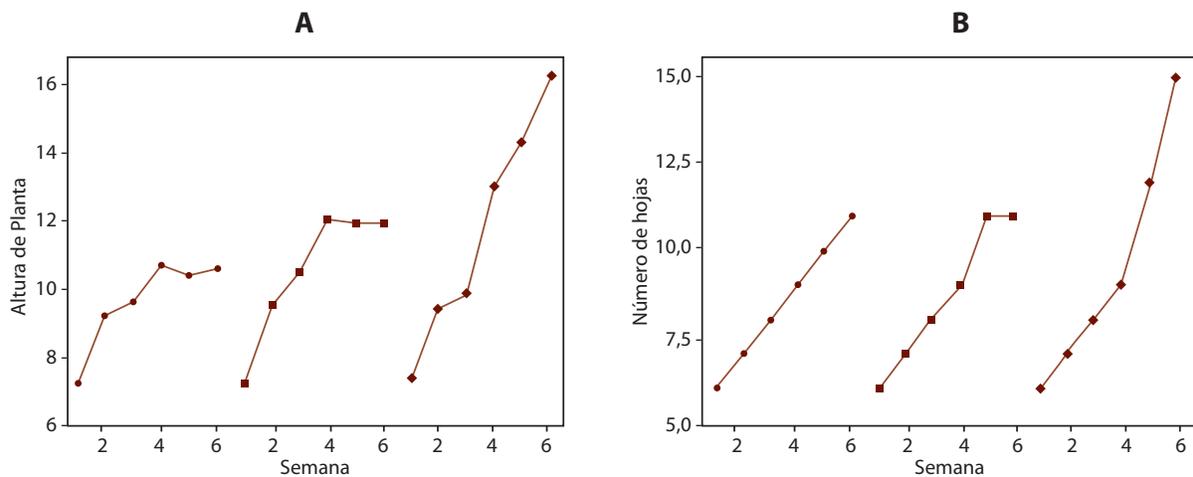


Figura 2. A. Altura de plantas. B. Número de hojas.
(Nomenclatura utilizada para identificar los tratamientos: ● T1; ■ T2; ◆ T3).

de las aguas residuales que se da en los biodigestores. Según Chará (2000), en los canales operan factores físicos de filtración, sedimentación y adsorción, así como factores biológicos de degradación y absorción de los nutrientes que quedan disponibles para las bacterias.

Además, se recomienda evaluar si un mayor tiempo de retención de la materia orgánica dentro de los biodigestores podría contribuir a disminuir aún más el número de coliformes en los efluentes sin necesidad de implementar un sistema de canales, ya que, según Soria *et al.* (2001) y Canessa *et al.* (1985), cuando el tiempo de retención es corto se produce mayor cantidad de biogás, pero el residuo es de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido.

Ensayos de fertilización en invernadero utilizando el cultivo de lechuga (*L. sativa*)

Las variables altura de planta y número de hojas se analizaron durante todo el periodo de cultivo. En la figura 2 se muestra el comportamiento presentado en cada tratamiento semanalmente (eje x) con respecto a la altura de la planta en cm, así como la cantidad de hojas (eje y).

En todos los tratamientos se observó un comportamiento creciente para ambas variables hasta llegar a la semana 4 (figura 2). A partir de este momento, T1 y T2 se mantuvieron constantes, mientras que T3 continuó presentando una tendencia al aumento, aún en la última semana de medición.

El mayor crecimiento con respecto a la altura lo presentó el tratamiento T3 (fertilizante químico), con una media de 16,30 cm, seguidamente T2 presentó una media en la altura de plantas de 11,90 cm, y finalmente T1 mostró una altura promedio de 10,53 cm. Los resultados sugieren que la aplicación del efluente al 50% de su concentración fue más efectiva que al 100%, lo cual es una ventaja, ya que al mezclarlo con agua se podría aplicar a una mayor área de cultivo.

En el análisis de varianza (ANOVA) se plantearon dos hipótesis, H_0 (hipótesis nula: $T1 = T2 = T3$) y H_a (hipótesis alternativa: $T1 \neq T2 \neq T3$). Para las variables altura de planta y número de hojas, se rechazó la hipótesis nula, ya que se determinó, con un 95% de confianza, que existía diferencia significativa entre los tres tratamientos (cuadro 4). La prueba de Tukey permitió determinar entre cuáles tratamientos se presentaron diferencias significativas.

Los tratamientos T1 y T2 se consideraron estadísticamente iguales, sin embargo, sí presentaron diferencias significativas con respecto a T3. Se pudo comprobar que el fertilizante químico produjo mejores resultados a corto plazo. Lo anterior concordó con otro estudio realizado por Solís (1991), en el cual el bioabono no mejoró estadísticamente los rendimientos de los cultivos ensayados.

Para el peso fresco y el peso seco, con el análisis de varianza se rechazó la hipótesis nula, ya que entre los tratamientos se presentaron diferencias significativas, con un 95% de confianza (cuadro 4). Al igual que con

Cuadro 4. Resumen del análisis de varianza de las cuatro variables analizadas en plantas de lechuga de acuerdo con los tratamientos de fertilización (diferentes concentraciones de efluente, ml). Altura de plantas, número de hojas, peso fresco, peso seco.

Altura de plantas					
Fuentes de variación	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Tratamientos	2	54,4822	27,2411	21,74	0,007
Repeticiones	2	8,2956	4,1478	3,31	0,142
Error	4	5,0111	1,2528		
Total	8	67,7889			
Número de hojas					
Fuentes de variación	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Tratamientos	2	26,8889	13,4444	48,40	0,002
Repeticiones	2	6,2222	3,1111	11,20	0,023
Error	4	1,1111	0,2778		
Total	8	34,2222			

Peso fresco					
Fuentes de variación	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Tratamientos	2	138,328	69,1640	59,75	0,001
Repeticiones	2	15,043	7,5214	6,50	0,055
Error	4	4,630	1,1576		
Total	8	158,001			
Peso seco					
Fuentes de variación	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Tratamientos	2	0,265489	0,132744	7,40	0,045
Repeticiones	2	0,092089	0,046044	2,57	0,192
Error	4	0,071711	0,017928		
Total	8	0,429289			

el número de hojas, la Prueba de Tukey reveló que los tratamientos T1 y T2 fueron estadísticamente iguales, sin embargo, existieron diferencias significativas con respecto al tratamiento T3, en el cual se cosecharon los pesos frescos más altos con una media de 12,45 g por planta. Al analizar las medias de los pesos de los otros dos tratamientos, se pudo observar un comportamiento semejante al presentado en la variable altura de plantas, donde la media aumentó su valor al disminuir la concentración del efluente (T2).

En los resultados obtenidos para la variable peso seco, las diferencias no fueron significativas en los tratamientos aplicados, esto sugiere que la disponibilidad de los nutrientes fue igualmente

efectiva en los tres tratamientos evaluados. Los resultados concuerdan con los de Gómez (1990), ya que bajo las condiciones de su ensayo, no se presentó efecto significativo de la aplicación de un abono orgánico sobre el comportamiento del peso seco en el cultivo de albahaca.

En general, el cultivo se comportó de manera favorable durante el periodo del ensayo. Fue posible observar diferencias de tamaño entre los tratamientos, siendo el tratamiento T3 el que presentó el mejor desarrollo al momento de la cosecha. El menor crecimiento visible se obtuvo con T1, ya que generó la menor media para la variable altura de planta. En la figura 3A se observa la comparación de crecimiento en cada uno de los

tratamientos del ensayo, también se pudo observar una notable diferencia en el crecimiento de las raíces en los tres tratamientos (figura 3B).

Las plantas del tratamiento T3 presentaron un color verde oscuro, con hojas más gruesas. Las diferencias de tamaño, color y desarrollo encontradas se atribuyen a que la asimilación de nutrientes se realiza más rápido en plantas sometidas a un tratamiento químico, ya que este se caracteriza por tener una gran solubilidad, lo cual implica una alta absorción por parte de la planta. Por el contrario, el bioabono tiene una solubilidad mucho menor; de modo que los nutrientes se absorben más lentamente.

El resultado es una acumulación de sustancias nutritivas en el suelo, lo cual mejora su aspecto físico químico (Solís, 1991, Canessa *et al.*, 1985). En este sentido, el efluente puede considerarse un mejorador de suelos, por lo cual debería aplicarse antes de la siembra o trasplante, sobre todo en el caso del cultivo de lechuga, el cual se caracteriza por tener un ciclo vegetativo corto y un sistema radicular superficial.

Conclusiones y recomendaciones

Se recomienda utilizar el efluente diluido al 50% como un mejorador de suelos, aplicando un tratamiento previo para disminuir el contenido de coliformes y garantizar su inocuidad para cultivos de consumo directo. Para ello se propone complementar la digestión anaerobia con un sistema de canales y plantas acuáticas.

Una alternativa más económica para obtener un efluente de mejor calidad fertilizante consiste en aumentar el tiempo de retención de la materia orgánica dentro de los biodigestores.

Por último, se recomienda humedecer el suelo y realizar una aplicación del efluente antes de la siembra o trasplante, con el fin de que los nutrientes se vayan acumulando y así puedan estar disponibles cuando se requieran, en especial si el ciclo vegetativo del cultivo de interés es corto.

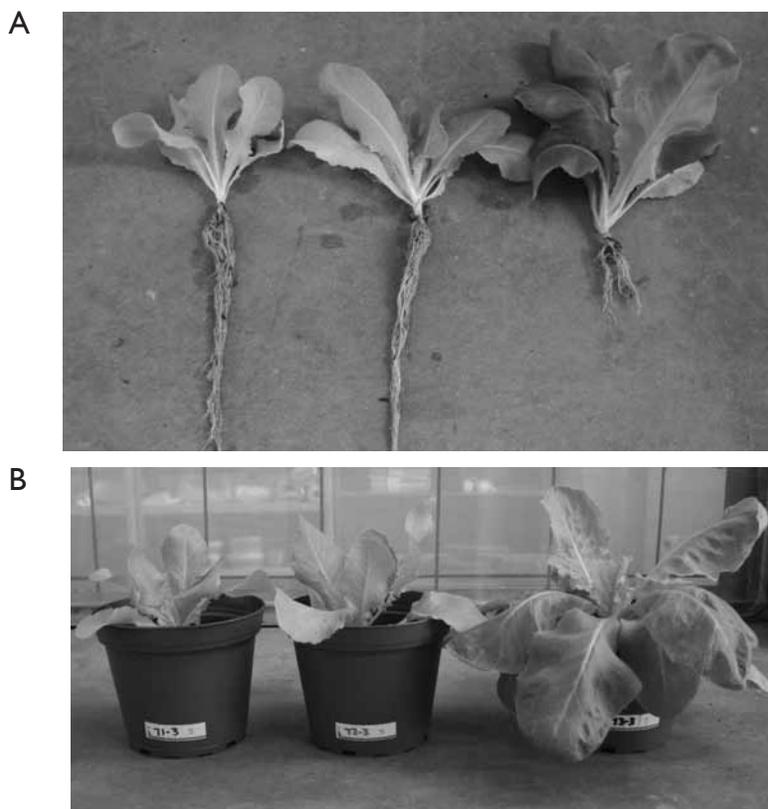


Figura 3. A. Comparación del desarrollo de los tratamientos T1, T2 y T3 (de izquierda a derecha).
B. Comparación visible de las raíces en los tratamientos T1, T2 y T3 (de izquierda a derecha).

Agradecimientos

Algunos de los resultados presentados en este artículo forman parte del trabajo final de graduación desarrollado por la autora Margie Faith Vargas, como requisito parcial para la obtención del grado académico de bachillerato universitario en Ingeniería en Biotecnología del TEC. Se agradece la colaboración de Dora Flores Mora, María Alejandra Valerio García, Rossy Guillén Watson, Carlos Solano Moya y Freddy Angulo Ramírez.

Bibliografía

- Arévalo, J. & Zambrano, L. (2007). *Implementación de un sistema autosostenible en la granja agropecuaria del municipio de Cogua para el tratamiento de los vertimientos líquidos porcícolas*. Tesis Lic. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. 168 p.
- Canessa, E.; Santana, A.; Coto, J., Abeles, T. & Indrick, S. (1985). *Simposio centroamericano sobre aplicaciones de energía biomásica. Diseño y construcción de biodigestores*. 2 ed. Cartago, Costa Rica. 204 p.
- Castillo, J. (2001). *Uso de biodigestores en el tratamiento de desechos orgánicos*. Revista Energía. 35: 9-12.
- Corlay, L.; Robledo, A.; Hernández, J.; Pineda, R.; Maldonado, J.; Cruz, A. & Álvarez, E. (2009). *Caracterización química y microbiológica del efluente de digester anaeróbico*. Universidad Autónoma Chapingo, México. Obtenido desde http://www.agronomiayciencias.uat.edu.mx/eventos/antiores/Agronomia/Congreso_nacional_ciencia_suelo/Contenido/biologia%20del%20suelo/carteles/L.%20Corlay%20Chee.pdf
- Cruz, E.; Martínez, V.; Naranjo, R. & Sosa, R. (2004). *Evaluación microbiológica del efluente anaerobio de un biodigestor de cúpula fija*. Revista Computadorizada de Producción Porcina 11(2): 89-95.
- Ebenezer, A.; Sethumadhavan, R. & Velraj, R. (2007). *Biogas: Can It Be an Important Source of Energy?* Environmental Science and Pollution Research 14(1): 67-71.
- Gallert, C. & Winter, J. (2002). *Solid and liquid residues as raw materials for biotechnology*. Naturwissenschaften 89: 483-496.
- Gómez, F. (1990). *Efecto de un abono orgánico sobre la producción de albahaca (Ocimum sanctum L.) y las propiedades físico-químicas de un suelo*. Tesis Lic. Escuela de ciencias agrarias. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 130 p.
- Hilbert, J. (2006). *Manual para la producción de biogás*. Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. – Castelar.
- IICA. (2009). *Biodigestores: Construcción de biodigestores o plantas de biogás*. Obtenido desde http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Biodigestores.pdf
- Mandujano, M.; Félix, A. & Martínez, A. (1981). *Biogás: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología OLADE*. Morelos, México. p. 7-24.
- Moncayo, G. & Arrue, R. (2007). *Construcción de biodigestores para el aprovechamiento del estiércol de animales para producción de biogás y energía eléctrica*. Colegio de Ingenieros Agrónomos de Chile. Obtenido desde <http://www.agronomos.cl/2007/feb/html/construccion.htm>
- Palacios, O. (2005). *Evaluación de un sistema discontinuo de biodigestión anaerobia para el tratamiento de desechos avícolas*. Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V. 20(4): 105-112.
- Retana, A. (2006). *El biodigestor: ¿Cómo darle mantenimiento?* Engormix. Obtenido desde http://www.engormix.com/el_biodigestor_como_darle_s_articulos_1029_POR.htm
- Solís, E. (1991). *Determinación de la dosis (mezcla abono fertilizante) y la época de aplicación del efluente utilizando el estiércol caprino como materia prima en el cultivo del frijón (Phaseolus vulgaris) y su efecto sobre las propiedades físicas del suelo*. Tesis Lic. Escuela de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 130 p.
- Soria, M.; Ferrera-Cerrato, R.; Etchevers, J.; Alcántar, G.; Trinidad, J.; Borges, L. & Pereyda, G. (2001). *Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo*. Terra 19(4): 353-362.
- Valdés, W.; Rodríguez, S. & Cárdenas, J. (1999). *Utilización del lodo obtenido de la digestión anaeróbica de la cachaza como bioabono para el cultivo del ajo porro (Allium porrum L.)*. Interciencia 24(4): 264-267.
- Weiland, P. (2000). *Anaerobic waste digestion in Germany. Status and recent developments*. Biodegradation 11: 415-421.