

**Aplicación potencial de biosólidos en el cultivo de jitomate (*Lycopersicum esculentum* L.)**

**Potential application of biosolids in the cultivation of tomato (*Lycopersicum esculentum* L.)**

MEJÍA MORÁN, Violeta Getsemaní & ALCALÁ MÁRQUEZ, Luis Jesús

*Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Violeta Getsemaní, Mejía-Morán* / **ORC ID:** 0000-0001-8764-1422, **Researcher ID Thomson:** Y-1810-2019. **CVU CONACYT ID:** 229563

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Luis Jesús, Alcalá-Márquez* / **ORC ID:** 0000-0002-6834-2408, **Researcher ID Thomson:** Y-2794-2019

V. Mejía, L. Alcalá

vgmejia@utbb.edu.mx

N. Zapata (Dir.). Ciencias Agropecuarias y Biotecnología, Proceedings-©ECORFAN-México, CDMX, 2019.

## Resumen

Este estudio tuvo como objetivo el evaluar la aplicación de la mezcla de biosólido (B) y sustrato (arena de río lavada) en un cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.) variedad Río Grande, a nivel invernadero. Se establecieron cuatro tratamientos basados en el incremento de concentraciones de biosólido (0, 2.5 %, 5.0 % y 7.5 % en peso seco). Se cosechó a los 150 días y los parámetros analizados fueron diámetro de raíz, longitud de raíz, altura de la planta, peso seco en raíz y número de frutos. Los resultados en el diámetro de la raíz y altura de la planta mostraron que no hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos; sin embargo, sí hubo diferencias significativas en la longitud de la raíz entre el tratamiento control (AR). El tratamiento de 5 % (AR + B2) tuvo un mayor número de frutos ( $p < 0.05$ ), superando en un 53 % al tratamiento control. Se observó tolerancia a altas concentraciones de nitrógeno (810 Kg de N ha<sup>-1</sup>). Los resultados muestran una respuesta positiva a la aplicación de biosólido ya que se promovió la producción de frutos sin hacer uso de fertilizantes minerales, razón por la cual, su aplicación como fertilizante, es una alternativa respetuosa con el medio ambiente.

## Biosólido, Métodos de manejo, Reciclaje de desechos orgánicos

### Abstract

The aim of this study was the application of a mixture of biosolids (B) and substrate (washed river sand) in a tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) variety Río Grande at greenhouse conditions was evaluated. Four treatments were established, based on the increase of biosolids concentrations (0, 2.5%, 5.0% and 7.5% in dry weight). It was harvested at 150 days and the parameters analyzed were root diameter, root length, plant height, dry weight at root and number of fruits. The results in root diameter and height of the plant showed that no significant differences ( $p < 0.05$ ) between the treatments; however significant differences in the length of the root between the control treatment (RA) were found. The 5%(AR + B2) treatment had a greater number of fruits ( $p < 0.05$ ), surpassing in 53% the control treatment. Tolerance was also observed at high concentrations of nitrogen (810 kg of N ha<sup>-1</sup>). The results obtained show a positive response to the application of biosolids since the production of fruits was promoted without the use of mineral fertilizers, therefore its application as a fertilizer, is a friendly alternative to the environment.

## Biosolid, Handling methods, Organic waste recycling

### Introducción

La producción sostenible de alimentos ha resurgido en la agenda política global, derivado de dos retos: i) la producción de suficiente comida para alimentar a la creciente población y ii) el uso eficiente de los recursos naturales (Schulte et al., 2014). El uso de prácticas productivas insustentables dentro del sector agropecuario a nivel mundial, han conducido al deterioro ambiental debido principalmente a la falta de interés en el empleo de técnicas efectivas de conservación (Ávila-Foucat, 2017).

La agricultura intensiva se caracteriza por aumentar los rendimientos de los cultivos, sin embargo estas mejoras en la producción tienen costos ambientales que no pueden ni deben ser ignorados (Tilman, 1999); tales como: riesgos en la salud humana (Kremmen y Miles, 2012), emisiones de gases con efecto invernadero, cambio climático, pérdida de la biodiversidad, contaminación por la aplicación de fertilizantes y pesticidas en aguas subterráneas y superficiales, eutroficación por fósforo y nitrógeno, así como la erosión del suelo (Tilman et al., 2002, Delonge et al., 2016).

En México, se calcula que aproximadamente 44.9% de los suelos presentan algún tipo de erosión (SEMARNAT-CP, 2003). De manera particular, la producción de jitomate en México creció a una tasa promedio anual de 3.3 por ciento entre 2005 y 2015, actualmente México es el principal proveedor de esta hortaliza en el mundo (SAGARPA, 2017); aunque la superficie total destinada a este cultivo a cielo abierto disminuyó, el cultivo en condiciones controladas aumentó pasando de 2.9 por ciento en el 2005 a 59.6% en 2015 (FIRA, 2016).

De ahí que la SAGARPA en su planeación agrícola nacional 2017- 2030, dentro de sus estrategias de sustentabilidad en la producción agrícola propone reducir la utilización de químicos en el cultivo de jitomate con el fin de garantizar inocuidad y disminuir costos. Por consiguiente es necesario emplear procedimientos que permitan migrar de una agricultura convencional a una agricultura sustentable; en donde el principio de sustentabilidad implique el uso de los recursos a tasas que no excedan la capacidad del planeta para reemplazarlas (Godfray et al., 2010), de tal forma que no se comprometa el futuro de las próximas generaciones . En este sentido, la utilización de desechos orgánicos para la nutrición de plantas ha ido en ascenso, la eficiencia y efectividad de su empleo como acondicionadores del suelo y fertilizantes, compone una de las mejores formas de mantener y restaurar la productividad del suelo (Kumar et al., 2014).

Una alternativa de uso de desechos orgánicos lo constituyen los lodos residuales, los cuales son los residuos resultantes de la separación de los sólidos y los líquidos durante el tratamiento de las aguas residuales (Tchobanoglous et al., 2003). Su generación representa el mayor volumen de los contaminantes removidos de las aguas residuales (Fytili y Zabiniotou, 2008), por lo que su manejo y disposición final constituye el principal reto dentro del proceso (Cieslik et al., 2015). El incorrecto manejo de los mismos deriva en serios problemas ambientales tales como la contaminación del agua subterránea, la degradación del suelo entre otros (Bhavisha et al., 2017).

Los métodos principales de disposición de lodos comprenden la incineración, relleno de terrenos al aire libre y como mejorador de suelos (Kominko et al., 2017), para este último, es necesario estabilizar el lodo residual para reducir el contenido de patógenos al igual que la generación de olores, así como la atracción de vectores (Rigby et al., 2016). Una vez estabilizado, se le conoce como biosólido, los cuales se caracterizan por contener una fuente rica de los principales elementos nutritivos de las plantas (Chamber et al., 2003) por lo que pueden ser susceptibles de aprovechamiento agrícola, promoviendo la disminución del uso de fertilizantes minerales (Terry, 2001) y con ello impactar positivamente en el cuidado del ambiente y en la economía de los agricultores.

Los biosólidos proporcionan fuertes ventajas ambientales y económicas (Giannakis et al, 2014), primordialmente a causa de su alto contenido en materia orgánica, nitrógeno, fósforo y micronutrientes (Roca-Pérez et al., 2009; Latare et al., 2014), con los cuales pueden aumentar la fertilidad del suelo (Albiach et al., 2001; Adviento-Borbe, 2007); además de mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos y propiciar una mayor retención de agua (Griffith et al, 2005), así mismo aumenta la actividad microbiológica responsable de los procesos de asimilación de nutrientes de las plantas (García, 2004). Fytili y Zabaniotou en 2008, estiman que aproximadamente el 37% de los lodos residuales se destinan al uso en agricultura.

No obstante, los biosólidos pueden contener patógenos (bacterias, hongos, virus) y sustancias tóxicas como pesticidas, insecticidas, medicamentos, detergentes, hormonas, antibióticos (Luo et al., 2014), igualmente es posible que contengan elementos trazas con los que existe el riesgo de acumulación en el tejido de los seres humanos y la bioacumulación en la cadena alimentaria (Hsiau y Lo, 1998, Mohaparatra et al., 2016). El presente estudio tiene como objetivo analizar la factibilidad del uso de biosólidos obtenidos durante el tratamiento de aguas residuales domésticas aplicados en diferentes concentraciones sobre el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en condiciones de invernadero, con la intención de presentar una alternativa de mitigación ambiental y nutrición vegetal.

## **Metodología a desarrollar**

### **Sitio experimental**

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero en Bahía de Banderas, Nayarit el cual está ubicado en el occidente de la República Mexicana (20°42'33.7''N. Latitud y 105°17'05.2''W Longitud ), a una altitud de 2 metros sobre el nivel del mar, el clima es cálido-subhúmedo con una temperatura media anual de 26°C y precipitación media anual de 1,152 mm (generalmente de junio a septiembre).

## Preparación del Biosólido

Los biosólidos fueron obtenidos de SEAPAL- Norte II (Sistema de los Servicios de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Puerto Vallarta), en el estado de Jalisco, México el cual trata principalmente agua proveniente de fuentes domésticas y de la industria hotelera.

Las aguas entran en un proceso de digestión aerobia en un reactor donde se producen los lodos residuales, estos a su vez son bombeados a un reactor anaerobio para ser compostados y generar biosólidos; estos son re-bombeados para su posterior adición de floculante comercial, así como su filtración a través de un filtro prensa para reducir su contenido de humedad. La producción de biosólidos es de 90 ton día<sup>-1</sup>. Las aguas residuales son descargadas al río y los biosólidos se destinan en su mayoría para regeneración de suelo agrícola. Para evitar la atracción de vectores y patógenos, el biosólido fue puesto bajo la acción térmica de los rayos del sol en una cama cubierta por una membrana plástica de polietileno por un periodo de diez días a 45°C. La concentración de metales traza, contaminantes orgánicos y contenido de patógenos fue baja, por lo que fueron clasificados como clase “A”, tipo excelente de acuerdo la normatividad mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2002).

## Preparación de Tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos basados en la concentración de biosólidos (B) aplicados en un sustrato de arena de río lavada (AR), se aplicaron concentraciones de 0, 2.5, 5 y 7.5 % en peso seco. En el tratamiento de 2.5 % se agregó 25 g de biosólido por kg<sup>-1</sup> de sustrato (considerado como AR + B1). En el tratamiento de 5 % se agregó 50 g de biosólido por kg<sup>-1</sup> de sustrato (considerado como AR + B2). En el tratamiento de 7.5 % se agregó 75 g de biosólido por kg<sup>-1</sup> de sustrato (considerado como AR + B3). El cuarto tratamiento fue sustrato sin biosólido el cual fungió como control (considerado como AR). Los tratamientos y las dosis aplicadas se muestran en la tabla 1. Cada tratamiento tuvo un peso total 4 kg y fue llevado a cabo en bolsas de poliuretano.

**Tabla 1** Dosis de Biosólidos en los tratamientos

Tratamiento	Concentración de biosólido por Kg de Suelo (g Kg <sup>-1</sup> )	Concentración de biosólido (t ha <sup>-1</sup> )	Concentración de Nitrógeno (Kg N ha <sup>-1</sup> )
AR	0	0	0
AR + B1	25	9	270
AR + B2	50	18	540
AR + B3	75	27	810

Semillas de jitomate *Lycopersicon esculentum* L. variedad “Río grande” fueron germinadas bajo condiciones de invernadero en semilleros tipo charolas con una profundidad de 5 cm usando estopa de coco como sustrato. Se mantuvieron bajo características normales de luz, y temperaturas 33°C / 26 °C (día/noche). Después de 22 días, 48 plántulas fueron trasplantadas a bolsas de polietileno considerando una plántula por bolsa. Se estableció un diseño completamente al azar, con 12 réplicas por tratamiento. El experimento se llevó a cabo en la zona central del invernadero utilizando un área total de 28 m<sup>2</sup>.

Con el propósito de disminuir el efecto orilla, se agregaron dos tratamientos extras al inicio y al final del surco. Las plantas fueron irrigadas diariamente con agua de pozo bajo un sistema por goteo. No se agregó fertilización adicional. A los 40 días de iniciado el experimento se procedió a podar la zona de las ramas inferiores al primer fruto, con el fin de estimular a la planta a utilizar los nutrientes en la producción de frutos. El experimento finalizó a los 150 días con la cosecha de los frutos. Las variables analizadas fueron longitud del tallo, diámetro radial, producción de frutos, peso seco en raíces y altura de la planta; para el peso seco de las raíces se requirió un lavado con agua corriente y después secado en horno durante a 60°C durante 72 horas.

## Análisis estadístico

Los datos fueron analizados a través de el análisis de varianza de un solo factor (ANOVA), para probar las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se empleó la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

## Resultados

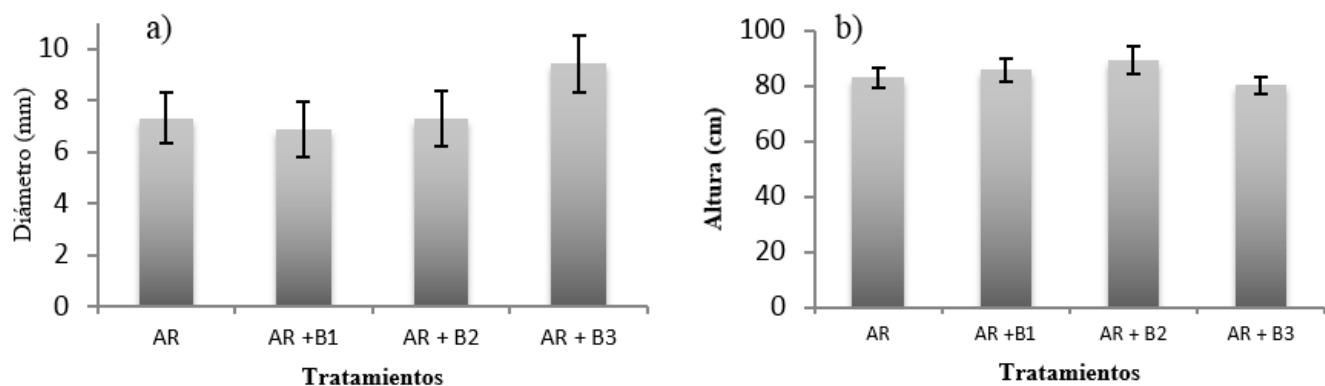
Los resultados obtenidos para determinar la viabilidad de la aplicación de biosólidos sobre el vigor de las plantas se muestran en la Gráfica 1. El diámetro del tallo tiene relación a la respuesta con el consumo de nutrientes, sin embargo se determinó que no existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos (Gráfica 1a), comportamiento que ha sido reportado por otros autores (Giannakis et al., 2014), en cambio Negrin et al., 2015 tuvo un incremento de 0.19 cm en un cultivo de jitomate usando biosólido derivado de un tratamiento anaerobio aplicándolo con una concentración de 6.8 t ha<sup>-1</sup>.

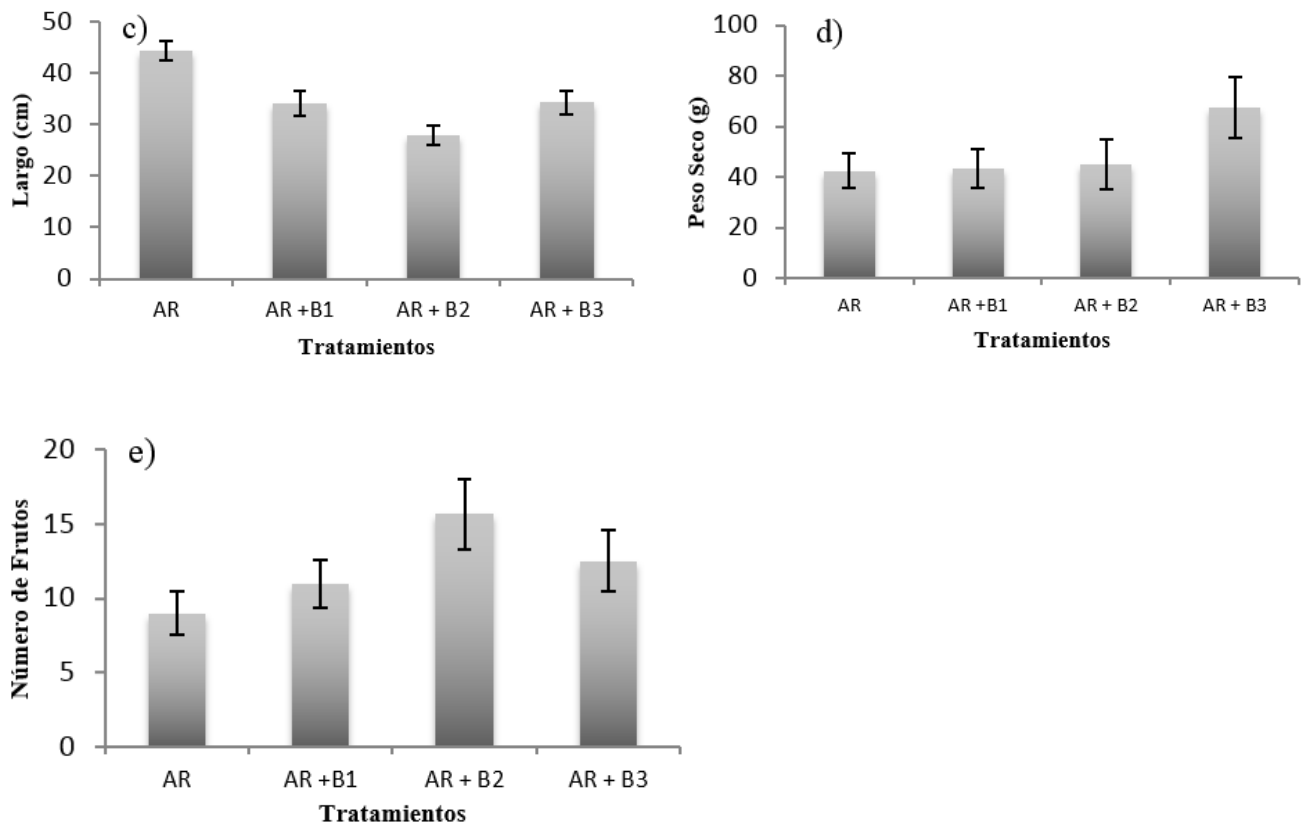
De igual manera no se observó diferencia significativa en la altura de las plantas por el aumento en la concentración de biosólido (Gráfica 1b), el promedio de altura entre los tratamientos fue de  $83 \pm 4$  cm; resultados similares han sido encontrados en la literatura (Teri et al., 2001; He et al., 2016), por lo que conviene subrayar que la adición de biosólido rico en nutrientes no interfiere con el desarrollo morfológico de la planta (Singh y Agrawal, 2009; Wang et al., 2008).

Las raíces de las plantas presentan un papel de vital importancia en la nutrición de la misma, ya que a través de ella se dan los procesos de transporte de agua y de nutrientes, así como también funciona como soporte de la vida microbiana rizosférica. El peso seco en raíces (Gráfica 1d) no presentó diferencia significativa entre tratamientos, no obstante la longitud radicular (Gráfica 1c) sí presentó diferencia significativas. El tratamiento testigo (AR) desarrolló raíces con mayor longitud en relación a los tratamientos AR + B1, AR + B2 y AR + B3, superándolos con un 34.7 %, 56.8 % y 33.24 % respectivamente.

Las raíces desarrolladas por el tratamiento testigo fueron del tipo pivotante derivado de la carencia de nutrientes en el medio, sin embargo las raíces de los tratamientos enriquecidos con biosólidos desarrollaron raíces fasciculantes, ya que disponían de nutrientes distribuidos en el sustrato, lo que provocó un ambiente propicio para la actividad de microorganismos en el suelo (Suárez-Estrella et al., 2013; Torri et al., 2014; Mondal et al., 2015).

**Gráfico 1** Efecto de la aplicación de biosólido en diferentes concentraciones: 0% AR (Control); 2.5 % (25 g de biosólido por kg<sup>-1</sup> de sustrato) AR + B1; 5 % (50 g de biosólido por kg<sup>-1</sup> de sustrato) AR + B2; 7.5 % (75 g de biosólido por kg<sup>-1</sup> de sustrato) AR + B3;). a) diámetro del tallo, b) altura de la planta, c) longitud radial, d) peso seco en raíces y e) número de frutos. Las barras de error están representadas como error estándar





Algunos autores reportan una inhibición en el rendimiento de los cultivos, derivado del aumento de concentración de biosólido (Wei du et al., 2012; Giannakis et al., 2014, Hernández et al., 2014). En este estudio, el efecto en la producción de frutos mostró diferencias significativas positivas entre el tratamiento AR + B2 (18 t ha<sup>-1</sup>) y el testigo, superándolo con un porcentaje de 46.1 %. En este tratamiento la concentración de nitrógeno corresponde a 540 Kg de N ha<sup>-1</sup> (Tabla 1); en contraste, Upendra et al., (2006) reportó disminución en la producción de jitomate en concentraciones por arriba de 200 Kg de N ha<sup>-1</sup>. A pesar de ello, la literatura menciona incrementos en la producción de jitomate a concentraciones elevadas de desechos orgánicos: Atiyeh et al., (2001) emplearon estiércol de cerdo vermicompostado en concentraciones de 0-100% (v/v) sus resultados mostraron una tolerancia del cultivo a altas dosis de desecho orgánico, al igual que He et al., (2016) utilizó hasta 800 Kg de N ha<sup>-1</sup> de estiércol de cerdo compostado, de donde resultó un incremento en el crecimiento y producción de jitomates.

Así, por ejemplo, en la literatura podemos encontrar estudios diversos en los que se evalúa la aplicación de desechos orgánicos en cultivos, en el Tabla 2 se resumen algunas evaluaciones que se han hecho en diferentes cultivos y dosis de biosólido. Miralles de Imperial en el 2003 empleó lodo compostados, lodos compostados de poda y lodos deshidratados en un cultivo de Olivo (*Olea europaea* L.) en diferentes concentraciones de biosólido (0, 10, 20, 40, 80 y 120 t ha<sup>-1</sup>) resultando en incremento en la materia orgánica del sistema y mejora de la disponibilidad de nutrientes; así mismo Waqas et al., (2014) llevaron a cabo un estudio a nivel invernadero con pepino (*Cucumis sativa* L.) utilizando lodo residual y biochar de lodo residual en las concentraciones de 2, 5 y 10 % en peso seco obteniendo una mayor biomasa con respecto al control. Latare et al. (2014) empleó lodo residual en un cultivo de arroz y trigo en donde hubo un incremento en el rendimiento de los cultivos, así también Pérez-Murcia et al., (2006) demostró que al agregar lodo residual en concentraciones de 0 %, 15 %, 30 % y 50 % v/v la concentración de nutrientes del medio.

**Tabla 2** Efecto de la aplicación de biosólidos y lodos residuales en la producción agrícola de distintas especies vegetales

Especie Vegetal	Tipo de Desecho Orgánico	Concentración	Observaciones	Referencia
Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.var. Sunrise )	Biosólido	15 t ha <sup>-1</sup>	Incrementó el rendimiento	Antolín et al., 2005
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.) y Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L. cv. Malviya 234)	Lodo residual	0, 10, 20, 30 y 40 t ha <sup>-1</sup>	Incrementó el rendimiento en ambos cultivos	Latare et al., 2014
Brocolí ( <i>Brassica oleracea</i> var. <i>Botryti</i> cv. Marathon)	Lodo residual	0 %, 15 %, 30 % y 50 % v/v	Incrementó la cantidad de nutrientes y contenido de elementos traza. No aumentó el índice de germinación	Pérez-Murcia et al., 2006
Maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	Lodo residual Composta de lodo residual	18 Mg ha <sup>-1</sup>	Incrementó el rendimiento en los tratamientos con lodo y composta de lodo residual.	Vaca et al., 2011
Olivo ( <i>Olea europaea</i> L.)	1) Lodo Compostado Residuos poda 2) Lodo compostado 3) Lodo deshidratado	0, 10, 20, 40, 80 y 120 t ha <sup>-1</sup>	Incrementaron los contenidos de materia orgánica	Miralles de Imperial, 2003
Pepino ( <i>Cucumis sativa</i> L.)	Lodo residual y biochar de lodo residual	2 %, 5 % y 10 % en peso seco	Mayor biomasa en frutos	Waqas et al., 2014
Frijol Chino ( <i>Vigna unguiculata</i> ) Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	Lodo Residual	5, 10 y 15 t ha <sup>-1</sup>	Disminuyó la densidad aparente en 21%, incrementó la porosidad del suelo, actividad de hidrogenasa y la biomasa microbiana.	Mondal et al., 2015
Abelmosco ( <i>Abelmoschus esculentus</i> L. var Varsha uphar)	Biosólido	20 % y 40 % (w/w)	Incrementó la producción en ambos casos	Singh y Agrawal, 2009

Por otro lado, la introducción de biosólidos como fertilizantes se ubica en el primer nivel conforme a la taxonomía de Gliessman (2014), debido a que se reduce la producción de desechos; a su vez conlleva beneficios económicos al reducir los costos de operación en los suministros, además de minimizar la emisión de gases con efecto invernadero, aunque su uso está sujeto a varios desafíos entre los que destacan la propaganda entre la población, el transporte de los biosólidos y los problemas que derivan de la producción masiva de los mismos.

### Agradecimiento

A PROMEP por el financiamiento NPTC y a la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, así como a los alumnos de la carrera de Agricultura Sustentable y Protegida quienes estuvieron apoyando en el proyecto.

### Conclusiones

La mayor producción de frutos fue en presencia con una concentración de 18 t ha<sup>-1</sup> de biosólido (AR + B2). Se demostró tolerancia a altas concentraciones de nitrógeno de hasta 810 Kg de N ha<sup>-1</sup>. La falta de nutrientes provocó formación de raíces tipo pivotantes en el tratamiento testigo. No hubo efecto en la longitud radical, así como en la altura de la planta y peso seco. De manera que el empleo de biosólidos tiene potencial agrícola por ser una alternativa amigable y de bajo costo; sin embargo es necesaria una propaganda efectiva a la población y a las empresas del ramo alimenticio para su aceptación

## Sugerencias

Es importante determinar el efecto de la adición de biosólido en el sustrato y cultivo de jitomate, sobre las características físicas y químicas del suelo, para relacionarlas con la productividad del cultivo.

## Referencias

Adviento-Borbe, M.A.A., Haddix M.L., Binder D.L., Walters D.T. and Dobermann A., (2007). Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. *Global Change Biology*, 13, 1972–1988.

Albiach R., Canet R., Pomares F. y Ingelmo F. (2001). Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technology*, 77 (2), 109–114.

Antolín M.C, Pascual I., García C., Polo A. y Sánchez-Díaz M. (2005). Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 94 (2-3), 224-237.

Ávila-Foucat V.S. (2017). Desafíos del sector primario y políticas públicas sustentables. *Economía Informa*, 402, 29-39

Bhavisha S., Sarkar A., Singh P. y Singh R.P. (2017). Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Management*, 64, 117-132.

Cieslik B.M., Namiesnik J. y Konieczka P. (2015). Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *Journal of Cleaner Production*, 90,1-15.

Chambers B.J., Nicholson F.A., Aitken M., Cartmell E. y Rowland C. (2003). Benefits of bio- solids to soil quality and fertility. *Water and Environment Journal Promoting Sustainable Solutions*, 17 (3), 162–167.

DeLonge M.S., Miles A. y Carlisle L. (2016). Investing in the transition to sustainable agriculture. *Environmental Science & Policy*, 55 (1), 266-273.

FIRA (2016). Panorama Agroalimentario. Tomate Rojo 2016. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. [en línea]. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama\\_Agroalimentario\\_Tomate\\_Rojo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf). (14/08/2017)

Fytili D. y Zabaniotou A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 12 (1), 116-140.

García-Gil J.C., Plaza C., Senesi N., Brunetti G. y Polo A., (2004). Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil. *Biology and Fertility of Soils*, 39, 320–328.

Giannakis G.V., Kourgialas N.N., Paranychianakis N.V., Nikolaidis N.P. y Kalogerakis N. (2014). Effects of Municipal Solid Waste Compost on Soil Properties and Vegetables Growth. *Compost Science & Utilization*, 22(3), 116-131.

Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M. y Toulmin C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327 (5967), 812-818.

Griffiths B.S., Hallett P.D., Kuan H.L., Pitkin Y. y Aitken M.N. (2005). Biological and physical resilience of soil amended with heavy-metal contaminated sewage sludge. *European Journal of Soil Science*, 56 (2), 197–205.



- Hernández T., Chocano C., Moreno JL. y García C. (2014). Towards a more sustainable fertilization: Combined use of compost and inorganic fertilization for tomato cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 196, 178-184.
- Hsiau P. y Lo S. (1998). Extractabilities of heavy metals in chemically-fixed sewage sludges. *Journal of Hazardous Materials*, 58 (1-3), 73-82.
- Kominko H., Gorazda K. y Wzorek Z. (2017). The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. *Waste Biomass Valorization*, 8(5) 1781-1791.
- Kumar R., Sharma S. y Prasad R. (2014). Yield Nutrient Uptake, and Quality of Stevia as Affected by Organic Sources of Nutrient. *Communications in Soil Science and Plant Nutrition*, 44 (21), 3137-3149.
- Latore A.M., Kumar O., Singh S.K. y Gupta A. (2014). Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice-wheat system. *Ecological Engineering*, 69, 17-24.
- Miralles de Imperial R., Beltrán E.M., Porcel M.A., Beringola M.L, Valero-Martín J., Calvo R. y Delgado M.M. (2003). Disponibilidad de nutrientes por el aporte de tres tipos de lodo de estaciones depuradoras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19 (3), 127-136.
- Mohapatra D.P., Cledón M., Brar S.K. y Surampalli, R.Y. (2016). Application of wastewater and biosolids in soil: occurrence and fate of emerging contaminants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227 (3), 1-14.
- Mondal S., Singh R.D., Patra A.K. y Dwivedi B.S. (2015). Changes in soil quality in response to short-term application of municipal sewage sludge in a typical haplustept under cowpea-wheat cropping system. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 4, 37-41.
- Negrin-Brito A., Jiménez-Peña Y. y de la Vega-Baéz D. (2015). Efecto agronómico sobre el tomate del biosólido resultante de una planta de tratamiento anaeróbico de residuales pecuario. *Centro Agrícola*, 42 (4), 53-60
- Perez-Murcia M.D., Moral R., Moreno-Caselles J., Perez-Espinosa A. y Paredes C. (2006). Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. *Bioresource Technology*, 97 (1), 123-130.
- Rigby H., Clarke B.O., Pritchard D.L., Meehan B., Beshah F., Smith S.R. y Porter N.A. (2016). A critical review of nitrogen mineralization in biosolids-amended soil, the associated fertilizer value for crop production and potential for emissions to the environment. *Science of Total Environment*, 541, 1310-1338.
- Roca-Pérez L., Martínez C., Marcilla P. y Boluda R. (2009). Composting rice Straw with sewage sludge and compost effects on the soil-plant system. *Chemosphere*, 75(6), 781-787.
- SAGARPA (2017). Jitomate Mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. [en línea]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>. (04/11/2017)
- Schulte R.P.O., Creamer R.E. , Donnellan T. , Farrelly N. , Fealy R., O'Donoghue C. y O'hUallachain D. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science & Policy*, 38, 45-58.
- SEMARNAT (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.-Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario Oficial de la Federación. 24 de septiembre 2002.
- SEMARNAT y CP. (2003). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250:000. Memoria Nacional 2001-2002.

- Singh R.P. y Agrawal M. (2009). Use of sewage sludge as fertiliser supplement for *Abelmoschus esculentus* plants: physiological, biochemical and growth responses. *International Journal of Environment and Waste Management*, 3 (1/2), 91-106.
- Suarez-Estrella F., Jurado M.M., Vargas-Garcia M.C, Lopez M.J. y Moreno J. (2013). Isolation of bio-protective microbial agents from eco-compost. *Biological Control*, 67(1), 66-74.
- Tchobanoglous, G. and Burton F.L. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Irwin/McGraw-Hill.
- Terry E., Núñez M., Pino M.A. y Medina N. (2001). Efectividad de la combinación Biofertilizantes-análogo de brasinoesteroides en la nutrición del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales* 22(2), 59-65.
- Tilman D. (1999). Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. Memorias. National Academy of Sciences colloquium ‘‘Plants and Population: Is There Time?’’. Irving, California. 5-6 de Diciembre de 1998. 5595-6000. En papel.
- Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A, Naylor R. y Polasky S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418 (6288), 671-677.
- Torri S.I., Corrêa R.S y Renella G. (2014). Soil carbón sequestration resulting from biosolids application. *Applied and Environmental Soil Science*, Vol 2014,
- Upendra M.S., Bharat P. S. y Syed R. (2009). Tillage, Cover Cropping, and Nitrogen Fertilization Influence Tomato Yield and Nitrogen Uptake. *HortScience*, 35 (2), 217-221.
- Vaca R., Lugo J., Martínez R., Esteller M.V. y Zavaleta H. (2011). Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and *Zea mays* L. Plants (heavy metals, quality and productivity). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27 (4), 303-311.
- Wang X., Chen T., Ge Y. y Jia Y. (2008). Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. *Journal of Hazardous Materials*, 160, 554-558.
- Waqas M., Khan S., Qing H., Reid B.J. y Chao C. (2014). The effects of sewage sludge and sewage sludge biochar on PAHs and potentially toxic element bioaccumulation in *Cucumis sativa* L. *Chemosphere*, 105, 53-61