

# Caracterización de los biosólidos generados en una empresa embotelladora y su uso como sustrato

## Typify of biosolids generated at a bottling company and its use as substratum

José Hernández-Dávila<sup>1</sup>, Jesús Joaquín Morales-López<sup>2</sup>, Valentín Robledo-Torres<sup>1</sup>, Adalberto Benavides-Mendoza<sup>1</sup>, Manuela Bolívar-Duarte<sup>3</sup>

E-mail: jhdavila@att.net.mx

<sup>1</sup>Profesor Investigador. Depto. de Horticultura. División de Agronomía. <sup>2</sup>Estudiante de la Maestría en Horticultura. <sup>3</sup>Profesor Investigador. Depto. de Riego y Drenaje. División de Ingeniería. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. C.P. 25315.

### Abstract

This study was carried out in order to typify the sludge generated by the “El Carmen S. A. de C. V.” bottling company located in Saltillo, Coah., Mexico and to determine its possible use as a substratum for vegetable seedlings production. Results have shown that this sludge is classified as biosolids and it has showed salinity and alkalinity problems which were corrected when CE and pH values were lowered to a 1.68 dS cm<sup>-1</sup> and 6.81 respectively. When considering dried material and foliar area in a maize driven test, it is concluded that it is possible to produce vegetable seedlings when mixing the biosolids using quantities under 50 %.

**Key words:** sludge, substratum, vegetables, seedlings.

### Resumen

El trabajo se realizó para caracterizar los lodos que genera la empresa embotelladora El Carmen, en Saltillo, Coah. México, y determinar su posible uso como sustrato para la producción de plántulas de hortalizas. Los resultados mostraron que los lodos se pueden clasificar como biosólidos. Sin embargo, estos materiales presentaron problemas de salinidad y alcalinidad, los cuales fueron corregidos al reducir los valores de CE y pH a 1.68 y 6.81 dS cm<sup>-1</sup>, respectivamente. Además, derivado de la aplicación de los biosólidos en el desarrollo del maíz En el ensayo al considerar la materia seca y el área foliar se determinó que es posible producir plántulas de esta especie al mezclar el biosólido en cantidades menores a 50 %.

**Palabras clave:** lodos, sustrato, hortalizas, plántulas.

## Introducción

Debido al creciente desarrollo industrial de la Región Sureste del Estado de Coahuila es posible suponer que ha futuro, habrá graves problemas con los residuos que se generan por el tratamiento de las aguas residuales. Concretamente, la empresa Embotelladora El Carmen S.A. de C. V., al igual que otras empresas que tienen por Ley la obligación de tratar el agua utilizada en sus procesos de producción, genera lodos que provocan problemas en cuanto a los costos requeridos para su deposición final.

Sin embargo, como lo señalan diversos autores, estos lodos pueden ser utilizados como abonos orgánicos o sustratos de crecimiento para el desarrollo de diversas especies vegetales. El uso de estos materiales como sustrato en la agricultura, se ha convertido en una alternativa viable e interesante, desafortunadamente existe poca información científica al respecto aunque, en diversas instituciones se han realizado trabajos experimentales con estos materiales. Los resultados generados destacan que; se debe tener cuidado con los contaminantes presentes en los lodos, sobre todo con los metales pesados, los elementos nutritivos de importancia para el desarrollo vegetal, y los patógenos (Smith, 1996; Bontoux *et al.*, 1999; López *et al.*, 2000; Santiago, 2000; Cortés, 2003).

En la legislación mexicana, existe la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 de protección ambiental - lodos y biosólidos, en ella se establecen las especificaciones y los límites máximos permisibles de los contaminantes presentes en los lodos que se originan por el tratamiento de las aguas residuales con el fin de posibilitar su aprovechamiento o deposición final (SEMARNAT, 2002). Aunque, para dictaminar el destino de los lodos o biosólidos es necesario cumplir con lo establecido en la Norma NOM-052-ECOL-1993, que indica la necesidad de realizar un análisis CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-infeccioso) (Flores, 2003), que proponen que el biosólido sea una alternativa de sustrato para disminuirlos. En este sentido, Hernández *et al.* (2005) cultivaron plantas ornamentales en fibra de coco mezclada con biosólidos, y reportaron resultados similares a los obtenidos en sustratos comerciales. Zamora *et al.* (1999), aplicaron lodos residuales al cultivo de maíz (*Zea mays*), y reportaron incremento de 35 % en rendimiento. También, personal de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), al usar biosólidos en maíz y hortalizas, reportó incrementos del rendimiento hasta en un 40 %.

Por lo anterior, se planteó el objetivo de caracterizar física, química y microbiológicamente los lodos que genera la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V. y determinar su posible utilización en la producción de plántulas de hortalizas.

## Metodología Experimental

### Caracterización de biosólidos por análisis CRETIB y NOM-004

A muestras tomadas de los lodos de la planta de tratamiento de la Embotelladora El Carmen, se les realizó el análisis CRETIB en la empresa Concentrados Industriales y, después, se sometieron al cumplimiento de los requisitos planteados en la NOM-004 para metales pesados y microorganismos.

### Caracterización agronómica de biosólidos

Parte de las muestras tomadas para los análisis anteriores se llevaron al laboratorio de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo Coah., México, en donde se determinaron las características agronómicas siguientes: 1) *fertilidad*, se determinaron las concentraciones de: S ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), B,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , N inorgánico,  $\text{PO}_4^{\text{a}n}$  y  $\text{K}^+$ ; 2) *características físicas y químicas*, según la textura, la CC, el PMP, la Da y la MO; y 3) *diagnóstico de salinidad y sodicidad*, de acuerdo a la CE, el pH,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , la RAS y los cloruros.

Por otra parte, autores como Montes *et al.* (2005) mencionan que la producción de plántulas demanda grandes volúmenes de sustrato, lo que eleva los costos. Por lo anterior, se planteó el objetivo de caracterizar química, física y microbiológicamente los lodos que genera la empresa Embotelladora El Carmen S. A. de C. V. y determinar su posible utilización en la producción de plántulas de hortalizas.

### Corrección de pH y CE

**Ensayos 1 y 2.** El pH y la CE fueron dos de los problemas que se detectaron en los biosólidos, por lo cual se realizaron ensayos para corregirlos. Se preparó un ensayo con las dosis 0.5, 1.0 y 1.5 M de ácido fosfórico Litro<sup>-1</sup> de agua, más un testigo con agua destilada; el segundo se preparó con las dosis 1.0, 2.0 y 3.0 mL de biodesal Litro<sup>-1</sup> más un testigo con agua destilada. En ambos ensayos, las unidades experimentales (UE) constaron de 50 g de biosólido colocados en un vaso de plástico del # 4, con pequeños orificios en el fondo y, cinco repeticiones en un diseño completamente al azar. A cada UE se le aplicaron 35 mL de solución preparada con ácido fosfórico o biodesal. Los sustratos colocados en los vasos de plástico se dejaron reposar, y al tercer día se determinaron los valores del pH o de la CE de la siguiente manera: de cada UE se tomaron 5 g del sustrato y se colocaron en vaso de vidrio, a los que se adicionaron 45 mL de agua; después se llevaron a un agitador magnético y se agitaron durante 20 minutos, utilizando un agitador magnético y se registraron los valores de pH y CE. Se repitió el procedimiento por cinco veces, cada tercer día.

**Ensayo 3.** De acuerdo a los resultados de los ensayos anteriores, se planteo un trabajo con 10 tratamientos, que resultaron de combinar tres dosis de ácido fosfórico (0.75, 1.0 y 1.25 M) con tres dosis de biodesal (2.5, 3.0 y 3.5 mL 1 Litro<sup>-1</sup> de agua), más un testigo con agua destilada. Estos se establecieron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. El procedimiento, fue el mismo que se utilizó en los anteriores ensayos.

### **Uso del biosólido como sustrato**

**Secado del biosólido.** Para deshidratar el biosólido, se colocó sobre un plástico extendido dentro de un macrotúnel, después se molió y se tamizó, con el propósito de hacer las mezclas para el sustrato, con base al volumen. Los tratamientos a probar fueron los siguientes: 1= 100:0, 2= 75:25, 3= 50:50, 4= 25:75 y 5= 0:100, relación de peat moss y biosólido, respectivamente. Cada mezcla se colocó en charolas germinadoras. Se utilizaron cuatro charolas por tratamiento y una por repetición.

**Prueba preliminar.** Por las características del sustrato, se realizó una prueba para determinar su efecto en la germinación de semillas pequeñas y grandes, por lo que la mezcla de las charolas se humedeció hasta capacidad de campo para realizar la siembra. Para las semillas pequeñas se utilizaron charolas de 128 cavidades, y de 60 para las semillas grandes. Las semillas utilizadas fueron de las siguientes especies vegetales: Tomate (*Lycopersicon esculentum*) cv. Río Grande, Chile Serrano (*Capsicum annum*) cv. Tampiqueño, Lechuga (*Lactuca sativa*) cv. Great Lakes, Sandía (*Citrullus lanatus*) cv. Charleston Grey, Melón (*Cucumis melo*) cv. Top Mark y Maíz (*Zea mays*. AN 447 Después, se colocaron las charolas dentro del macrotúnel. Se determinó el porcentaje de emergencia por tratamiento, al contabilizar las plantas, que se observaron a simple vista. Esto se realizó diariamente, hasta detectar el 100 % de las plantas en el testigo.

**Uso del biosólido como sustrato.** Este experimento se realizó con los resultados y procedimiento del ensayo anterior, aunque sólo se trabajó con maíz, var. AN 447, en las siguientes variables: *Área foliar*, en la que se midió la parte aérea de una plántula por tratamiento y repetición, con un analizador de área foliar (equipo portátil LI-3000); *Materia seca*, en la que se secó el vástago y la raíz a temperatura de 60–70 °C, durante 72 h, para luego pesarlos en una balanza analítica. Se realizaron muestreos cada cinco días, a partir de los 15 días después de la siembra.

## Resultados y Discusión

### Caracterización de los lodos por análisis CRETIB y NOM 004

Según los análisis CRETIB que se realizaron a los lodos, se determinó que los biosólidos analizados son negativos respecto a corrosividad, reactividad explosividad y toxicidad, y con relación a inflamabilidad y a características biológico infecciosas, su análisis no aplica, por las características propias del residuo en estudio. Estos resultados no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la norma respectiva por lo que el residuo, a juicio de la autoridad, puede ser considerado, manejado y dispuesto como no peligroso.

Después del análisis anterior, los lodos se sometieron al cumplimiento de los requisitos planteados en la norma NOM-004, en cuanto a metales pesados, y de acuerdo a los resultados obtenidos se determinaron las siguientes concentraciones: arsénico, 0.36; cadmio, 34.55; cobre, 56.91; cromo, < 46.99; mercurio, <0.183; níquel, <15.10; plomo, 361; y zinc, 136.18 mg kg<sup>-1</sup> de materia seca, respectivamente, se deduce que los lodos de la Embotelladora el Carmen S.A. de C.V. cumplen con los requisitos planteados, y pueden clasificarse y utilizarse como biosólidos de calidad excelente; es decir, que su contenido de metales pesados no rebasa, en ningún elemento, los valores mínimos permisibles en la norma citada. Por otra parte, por su contenido del indicador bacteriológico de contaminación (coliformes fecales, < 2400 x 10<sup>5</sup>; *Salmonella ssp* menor de 300 y huevos de helminto, igual a 0.0, de NMP g<sup>-1</sup> de MS), los residuos se pueden clasificar como de clase C, al no rebasar los valores mínimos permisibles. Por tanto, este material se puede usar con la seguridad de que no causará problemas a la salud humana.

### Caracterización agronómica

**Por fertilidad del residuo.** Los 11 elementos analizados tienen valores que varían de medio a alto excepto el potasio (Cuadro 1). Lo anterior significa que la aplicación del biosólido en la agricultura, puede aportar nutrientes para las plantas en cantidades considerables.

**Por características físicas.** Los resultados del Cuadro 1 muestran que el biosólido analizado presentó una textura arenosa, y densidad aparente muy baja, lo que implica alta porosidad. Es decir, es un residuo para uso agrícola que no tiene problemas para las plantas.

**Cuadro 1.** Caracterización química y física de los biosólidos generados en la Embotelladora el Carmen S.A. de C.V.

Elemento	Valor (ppm)	Clasificación	Característica	Valor
Azufre	11.71	Medio	Arena (%)	87.24
Boro	1.20	Medio	Limo (%)	5.28
Calcio	1837.50	Medio	Arcilla (%)	7.48
Zinc	5.32	Alto	CC (%)	105.75
Cobre	6.32	Muy alto	PMP (%)	55.51
Manganeso	8.04	Medio	HD (%)	50.24
Hierro	30.56	Alto	Da (g cm <sup>-3</sup> )	0.660
Magnesio	272.5	Medio		
Nitrógeno	47.50	178.6*		
Fósforo	21.81	Medio		
Potasio	156.0	Bajo		

\* kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno disponible, CLASIFI = clasificación, CARACTE = característica.

**Por diagnóstico de salinidad y sodicidad.** Al considerar el diagnóstico de salinidad y sodicidad del biosólido, se detectaron algunos problemas, según lo muestran los resultados que se presentan en el Cuadro 2. Así, la CE con valor de 5.45 dS cm<sup>-1</sup> y el pH de 8.4, fueron los problemas más serios, aunque también hay que considerar que tiene problemas de sodio. Si se quiere utilizar este residuo en la agricultura, es necesario eliminar, o al menos minimizar los problemas citados.

**Cuadro 2.** Resultados del diagnóstico de salinidad y sodicidad en extracto de saturación de los biosólidos generados en la Embotelladora el Carmen S.A. de C.V.

Característica química	Unidades	Valor	Clasificación
CE	dS cm <sup>-1</sup>	5.45	Moderadamente Salino
pH	u	8.4	Alcalino
MO	%	1.92	Medio
Sodio	meq l <sup>-1</sup>	27.766	Alto
CO <sub>3</sub>	meq l <sup>-1</sup>	0.000	Bajo
HCO <sub>3</sub>	meq l <sup>-1</sup>	9.440	Alto
SO <sub>4</sub>	meq l <sup>-1</sup>	6.805	Bajo
RAS		8.353	Sódico
Cloruros	meq l <sup>-1</sup>	38.400	Alto

RAS = Relación de absorción de sodio, CE = Conductividad eléctrica.

### Corrección de problemas

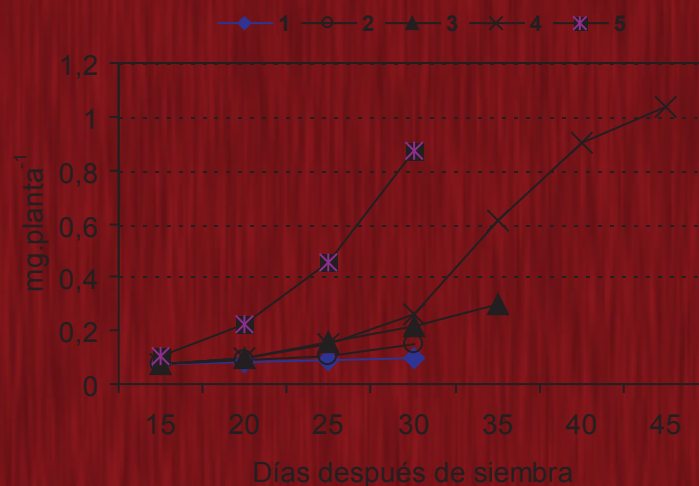
**Ensayos 1 y 2.** En ambos ensayos se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, pues se logró reducir el valor de pH al pasar de 8.53 en el testigo a 6.81 en el tratamiento donde se aplicó ácido fosfórico 1.0 M, con lo cual se tienen mejores condiciones para el desarrollo de las plantas. Por otra parte, el tratamiento donde se aplicó el desalinizante comercial biodesal en proporción de 3 mL Litro<sup>-1</sup> de agua, fue el que mayor redujo el valor de CE al alcanzar 1.68 dS cm<sup>-1</sup>, en comparación con el testigo, cuyo valor fue 5.48 dS cm<sup>-1</sup>.

**Ensayo 3.** Con los resultados obtenidos en los ensayos anteriores, se realizó el tercer experimento y sus resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. La mejor mezcla de productos para modificar los valores de pH y el de la CE resultó ser donde se aplicó 1.25 M de ácido fosfórico + 3 mL de biodesal, con valores de 6.46 y 1.33 dS cm<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos resultados indican que los problemas de alcalinidad y salinidad están resueltos y por tanto, el biosólido se puede utilizar en la agricultura.

## Uso del biosólido como sustrato

**Prueba preliminar.** De los seis cultivos establecidos, tres fueron de semilla pequeña (tomate, chile y lechuga), y ninguno de ellos germinó en las mezclas donde se incluyó el biosólido. Sólo germinaron las semillas que tuvieron como sustrato peat moss al 100 %; en cambio, los tres cultivos de semilla grande (melón, sandía y maíz) germinaron en todos los tratamientos.

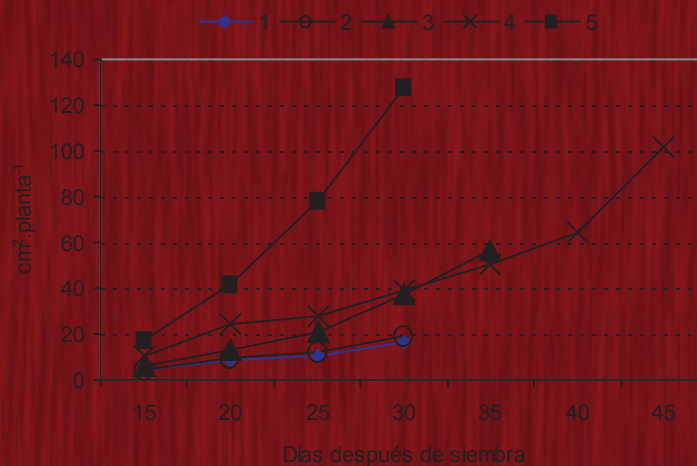
**Uso del biosólido como sustrato. Materia seca.** En tres de las cuatro evaluaciones realizadas, se detectaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos, y en todos los casos el tratamiento que acumuló mayor materia seca fue en el que se usó 100% de peat moss como sustrato. Sin embargo, al continuar evaluando los tratamientos 3 y 4 que tuvieron 50 y 25 % de biosólidos, respectivamente, se encontró que 15 días después incluso rebasaron a las plantas que crecieron en 100 % de peat moss en esta variable (Figura 1).



**Figura 1.** Acumulación de materia seca en plántulas de hortalizas, creciendo en mezclas de sustratos de peat moss y biosólido generado en la Embotelladora el Carmen S.A. de C.V.

**Área foliar.** Se detectaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el área foliar, en las cuatro evaluaciones realizadas, y todas las plantas que se desarrollaron en 100 % de peat moss produjeron mayor cantidad de área foliar que cualquier otro tratamiento. Sin embargo, al continuar evaluando los tratamientos 3 y 4, que tuvieron 50 y 25 % de biosólidos, respectivamente, se encontró que 15 días después, el tratamiento 4 casi alcanzó el valor de área foliar de las plantas que crecieron en 100 % de peat moss (Figura 2). Estos resultados muestran que el uso de biosólidos en proporciones menores al 50 %, puede utilizarse para producir plántulas de calidad.





**Figura 2.** Producción de área foliar en plántulas de hortalizas, creciendo en mezclas de sustratos de peat moss y biosólidos generado en la Embotelladora el Carmen S.A. de C.V.

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados de la caracterización agronómica, se puede concluir que los biosólidos presenta buenas características como: alto contenido de nutrientes, alta disponibilidad de agua y alto contenido de MO; también presenta algunos problemas como alto contenido de sodio, valor elevado de pH y alto valor de CE; por lo tanto, presenta problemas de alcalinidad y salinidad.

Los lodos de la Embotelladora El Carmen se clasifican como biosólidos, que después de corregirles el pH y la CE, se pueden usar en la agricultura. El uso del biosólido mezclados con peat moss, en cantidades menores al 50 %, son viables para la producción de plántulas de maíz, melón y sandía.

## Literatura Citada

Bontoux, L.; M. Vega; D. Papameletiou. 1999. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos. [www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm](http://www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm) (Consultado el 17/02/2004).

Cortés C., E. 2003. "Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Químico. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Química. Santiago de Chile.

Flores M., J. P. 2003. Manejo y biodegradación de biosólidos aplicados a la agricultura. Ponencia presentada en la XV Semana Internacional de Agronomía de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.

Hernández A., L.; A. M. Gascó; J. M. Gascó; F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology*. 96: 125-131.

López, F.; Juana I; G. M. Navarro; C. S. González. 2000. Tratamiento de descontaminación de materia orgánica residual: límites alcanzados en metales pesados. *Edafología*. Vol. 7-3. (Sep): 151-157

Montes R., G.; S. Jiménez; H. Solís G. 2005. Lodos residuales compostados: una alternativa de sustrato para la producción de planta de *Agave durangensis*. *Revista Agrofaz* 5 (1): 683-688.

SEMARNAT Norma Oficial Mexicana NOM-004- -2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 2003.

Santiago, E. 2000. Apuntes del curso: Tratamiento de aguas residuales. Especialización en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Saltillo.

Smith, E. 1996. *Agricultural recycling of sewage sludge and the environment*, Cab. International.

Zamora, F.; E. Salcedo; A. Aguayo. 1999. Efecto de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz. *In: Memoria del VIII Congreso Nacional y IV Congreso Latinoamericano de Biotecnología y Bioingeniería*. Huatulco, Oax, México. 632 p.