



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 10. N° 28
Febrero 2017
www.eumed.net/rev/delos/28

INCIDENCIA Y BENEFICIOS EN UTILIZAR BIOSÓLIDOS EN LAS PLANTACIONES AGRÍCOLAS

José Alberto Acosta Guzmán ¹
Universidad Tecnológica de Santiago
josacoguz@utesa.edu
República Dominicana

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
1. Introducción.....	3
2. Generación de biosólidos.....	4
3. Utilización de biosólidos en suelos agrícolas.....	5
4. Beneficios económicos por el uso de biosólidos	7
5. Beneficios sociales por el uso de biosólidos.....	7
6. Conclusiones.....	9
7. Bibliografía	10

¹ Doctor en Administración de Empresas y Economía por la Universidad de Sevilla (España). Ph.D, en Economics, en Atlantic International University, United States of America. Coordinador del área de Negocios de la Universidad Tecnológica de Santiago (UTESA).

RESUMEN

Esta investigación es de índole cualitativa "Incidencia y Beneficios de utilizar Biosólidos en las Plantaciones Agrícolas", así como la forma de generar biosólidos. Recientes investigaciones han indicado que los biosólidos, también pueden ser utilizados como una técnica en la mejora de los diferentes suelos en la agricultura. Como se ha demostrado, estas mejoras realizadas han logrado, las características de los diferentes suelos provean nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal como nitrógeno, fósforo, níquel, zinc y cobre. Debido a esta incidencia positiva, los biosólidos pueden ser utilizados como sustitutos de fertilizantes químicos. La Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago es la empresa reguladora encargada de la administración de los sistemas de suministro de agua potable y responsable de la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Santiago. La relevancia de esta investigación cualitativa es aportar beneficios al medioambiente, preservar y proteger la salud humana.

Palabras clave: Biosólidos, agricultura, suelos, regenerar, beneficios.

ABSTRACT

This qualitative research "Incidence and Benefits of using Biosolids in Agricultural Plantations", as well as how to generate biosolids. Recent research has indicated that biosolids can also be used as a technique in improving different soils in agriculture. As has been shown, these improvements have made the characteristics of the different soils provide essential nutrients for plant growth such as nitrogen, phosphorus, nickel, zinc and copper. Because of this positive incidence, biosolids can be used as substitutes for chemical fertilizers. The Santiago Aqueduct and Sewer Corporation is the regulatory company responsible for the administration of drinking water supply systems and responsible for the operation of wastewater treatment plants for the city of Santiago. The relevance of this qualitative research is to bring benefits to the environment, preserve and protect human health.

Keywords: Biosolids, agriculture, soils, regenerate, benefits.

1 INTRODUCCIÓN.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - USEPA, ha establecido: los biosólidos son los materiales orgánicos ricos en nutrientes procedentes del tratamiento de lodos de depuradora (el nombre para el residuo no tratado sólido, semisólido o líquido generado durante el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento). Cuando estos lodos son tratados se tiene finalmente la conversión a biosólidos, los cuales al mismo tiempo se pueden reciclar o reusar sin generar efectos nocivos en la salud de seres humanos y animales. En la actualidad, existen diferentes procesos físicos utilizados para la separación, reducción de volumen y peso de los biosólidos; proceso químico como la adición de químicos para transformar las características de los biosólidos y proceso biológico, adición de biomásas para la estabilización de los biosólidos; proceso térmico, destrucción y finalmente la detoxificación .

Se han realizado varios estudios sobre suelo en México y se ha encontrado que el biosólido obtenido en una planta de tratamiento de tipo anaeróbica es un producto rico en nutrientes, bajo en contenido de patógenos. Así mismo, el biosólido que se utilizó en este estudio estimuló el crecimiento y desarrollo a las plantaciones de frijol. Además, el fertilizante estimuló el crecimiento de la planta pero fue en menor proporción que el observado con la adición del biosólido. Como resultado se logró observar, el rendimiento de las plantas de frijol cultivadas en suelo sin adición del biosólido, este resultó menor que el obtenido con los tratamientos aplicados de biosólido y fertilizante. Finalmente, se puede afirmar, que los experimentos realizados fueron hechos bajo condiciones de invernadero y que es necesario confirmar los resultados en las plantaciones en campo abierto.

A partir de las últimas tres décadas se ha presentado la necesidad, de tratar, de forma adecuada las aguas residuales en las medianas y grandes ciudades, con el objetivo final de reutilizarlas en algunas actividades y de verterlas a los cuerpos receptores con una mejor calidad (González et al., 2014). De esta manera, se mantiene la capacidad de asimilación y autodepuración de dichos cuerpos dentro de su rango de tolerancia. El único inconveniente es lo que esto representa "tratar las aguas residuales generadas en las medianas y grandes ciudades representa una gran problemática medioambiental de alta relevancia, el cual toma forma a través de la generación y producción de enormes cantidades de biosólidos.

En otros estudios, se ha comprobado González et al. (2014), la aplicación de biosólidos, como mejoradores de suelos agrícolas de cultivo de maíz en la localidad en México, se ha logrado aumentar la productividad de los terrenos que los cosecheros destinan para realizar esta práctica. De forma tal, el rendimiento total y los beneficios económicos que obtienen los cosecheros guardan una relación directa y proporcional con la cantidad de superficie de cultivo que poseen. Así, aquellos que tienen mayor cantidad de superficie de terreno cultivable pueden aplicar biosólidos a una superficie de terreno más amplia, se puede afirmar en este mismo orden, que se

pueden lograr altos rendimientos, destinar mayor cantidad de producto final para la venta y lograr mayores ingresos financieros, permitiendo un aumento de la calidad de vida de los cosecheros y sus familiares y dependientes.

Se puede tomar como ejemplo la Ciudad de Santiago donde Acosta (2015) indica que existen importantes deficiencias ambientales, relacionadas con el manejo adecuado de los desechos sólidos y afluentes. Se puede afirmar, el control a la contaminación por aguas servidas se considera deficitario, además de que no se conoce la eficiencia de estos sistemas y su posible efecto en los sistemas de aguas subterráneas. Datos del Censo 2010 explican que un 89.65% de los hogares del municipio de Santiago en la República Dominicana eliminan la basura a través del Ayuntamiento, lo que indica que aproximadamente unas 2,000 toneladas (mensuales) de residuos no son tratadas de manera adecuada, generando posibles daños importantes al medio ambiente, por efecto de la disposición inadecuada de los mismos.

En México fueron realizados estudios Montes et al. (2003) en los cuales se analizaron los metales tóxicos provenientes de los biosólidos y la contaminación de estos en los cultivos de maíz. Continúa afirmando Montes et al. (2003) en los análisis comparativos realizados entre un cultivo de maíz evaluado a través de biosólidos y un cultivo de maíz tratado con componentes químicos. Estos investigadores han concluido que los resultados fueron similares, si bien, el porcentaje de mineralización de nitrógeno tendió a reducirse a medida que se incrementó la dosis de biosólidos aplicada, lo que generó un mejor índice de rentabilidad del suelo.

2. GENERACIÓN DE BIOSÓLIDOS

Conagua (2011) ha indicado, que debido a la escasez cada vez mayor de agua a nivel global, y debido a una regulación ambiental cada vez más estricta, se ha incrementado en las últimas tres décadas la necesidad de tratar y depurar las aguas de desecho en las medianas y grandes ciudades; el objetivo es reutilizarla en algunas actividades y de excretar las aguas residuales urbanas a los cuerpos receptores con una mejor calidad para que su capacidad de asimilación y autodepuración no se vea rebasada.

Se puede afirmar (Semarnat, 2002), depurar las aguas residuales generadas en las medianas y grandes ciudades, en este caso en particular Santiago, ha traído como consecuencia, una problemática adicional que afecta lo ambiental: la generación y producción de grandes cantidades de un producto no deseado: biosólidos provenientes de los procesos de tratamiento.

Se ha establecido de forma convencional, los métodos más aplicados para la disposición final de biosólidos son la incineración, su colocación en rellenos sanitarios y utilizarlos como enmiendas en suelos agrícolas. Así mismo, la última alternativa factible por las propiedades de estos residuos, en cuanto a su composición química y sus características físicas. Finalmente, estos lodos contienen un alto contenido de materia orgánica y otros elementos, que son esenciales para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantaciones cultivadas.

3. UTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS EN SUELOS AGRÍCOLAS

En las últimas décadas, en la Comunidad Europea y en los Estados Unidos, los biosólidos son por lo general utilizados como un elemento significativo en el campo de la agricultura, en la realidad, esto es aún muy controversial (McBride, 1995; Renner, 2000), es decir, cuando se reciclan los nutrientes que contienen los biosólidos, en esta parte se conforma un principio que permite la sustentabilidad, así mismo, cuando se introducen contaminantes en los suelos y los riesgos a los organismos, incluyendo los seres humanos, esto contradice los principios de prevención. Lo indicado consiste en utilizar a corto plazo de forma exclusiva los biosólidos que se puedan considerar de la más alta calidad para ser utilizados, según las normativas existentes en México (tipo: Excelente o Bueno, clase C, según NOM-004-Semarnat-2002).

Cuando se ha planteado la importancia del muestreo y análisis de suelo radica en que estos representan el punto inicial hacia un diagnóstico de la fertilidad, ya que permiten cuantificar la oferta de nutrientes del suelo. La diferencia entre la oferta y la demanda del cultivo, a partir de la definición de un rendimiento objetivo, indica la cantidad de nutrientes que deberá agregarse al suelo. Arias y Núñez (2014).

Por lo general en la agricultura, la calidad del agua se encuentra estructurada por su contenido total de sales disueltas, condición que también identifica su conductividad eléctrica, la cual se define como la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua. Se puede indicar que la conductividad brinda una idea global del contenido de sales en el agua Arias y Núñez (2014). Se puede afirmar, cuanto más elevada sea la conductividad, mayor será el contenido en sales. Además, las unidades de medida más utilizadas por lo general son: Milisiemens por centímetro (mS/cm); Microsiemens por centímetro (μ S/cm); deci-siemens por metro (dS/m), milimhos por centímetro (milimhos/cm) y micromhos por centímetro (μ mho/cm). Debiendo tener presente que algunas de estas nomenclaturas tienen las mismas equivalencias.

La utilización de los biosólidos en el largo plazo, involucra el crear e implementar sistemas y técnicas que faciliten la conciliación del principio de la sustentabilidad y la prevención de los diferentes riesgos O'Connor et al., (2005). Se debe tener presente que los biosólidos poseen materia orgánica y varios nutrientes que aportan enriqueciendo la nutrición de las plantas Singh y Agrawal, (2008). Además, los biosólidos logran mejorar de forma sustancial las características físicas, químicas y biológicas de los diferentes suelos y pueden incrementar de forma proporcional el rendimiento de la materia seca de muchos cultivos agrícolas Andrade et al., (2000); Hernández-Herrera et al., (2005).

Basta et al., (2005) estos investigadores, según estudios realizados en los últimos años, el riesgo más importante por la utilización de los biosólidos en los diferentes suelos agrícolas es su contenido de metales pesados (He et al., 2005). Así mismo, se puede afirmar que algunos metales presentes en los biosólidos son micronutrientes fundamentales para el crecimiento y desarrollo de

las plantaciones agrícolas (cobre y zinc) y proveen una marcada utilidad a los diferentes cultivos. Ahora bien, como la mayoría de los casos, los elementos en exceso pueden causar problemas fitotóxicos en la planta.

Vista esta situación, el gobierno mejicano ha iniciado en el año 2003 la implementación de cinco plantas de tratamiento de aguas residuales que generan 200 t d-1 de biosólidos. La depuración de las aguas residuales fue resuelto de manera parcial, pero surgió un nuevo inconveniente: la disposición final de tal cantidad de residuos sólidos generados. Ante esta perspectiva, el gobierno estatal inició, en el año 2003, un programa denominado “Aplicación de biosólidos como mejoradores de suelo” a través del Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP), con el objetivo de darles un destino final a los biosólidos producidos.

Para México los biosólidos tienen una gran importancia, siendo utilizados para las mejoras de suelos agrícolas en las comunidades rurales. Renner, et al., (2011). El objetivo de aplicar los biosólidos en los suelos agrícolas de esta zona es mejorar los rendimientos y rentabilidad, el ingreso económico y, en consecuencia, el nivel de vida de los productores. La localidad muestra un bajo grado de marginación municipal, pero su grado de marginación por localidad es bastante alto.

Se debe tener presente que la zona estudiada representa una de las más pobres de acuerdo a los últimos informes estadísticos elaborados por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), la localidad presenta un grado de rezago social medio Coneval, (2005). La mayor parte de la investigación que se realiza sobre el uso de biosólidos en suelos agrícolas se enfoca al impacto ambiental que puede ser provocado en el suelo. Esto es debido, principalmente, al contenido de elementos potencialmente tóxicos en los biosólidos y al riesgo de su potencial ingreso a las redes tróficas, lo que pone en peligro la salud humana y animal Granato et al., (2004), He et al., (2005), González et al., (2009), Torri y Lavado, (2009), González et al., (2011).

Se debe tomar muy en cuenta que los estudios realizados sobre los efectos del uso de biosólidos en suelos agrícolas es la incidencia y las características que determinan la fertilidad de los suelos y el crecimiento y desarrollo de las plantaciones agrícolas, y los rendimientos y productividad en los diferentes tipos de cultivos y de suelos (Bañuelos et al., (2007); Odlare et al., (2008); Samaras et al., (2008).

La incidencia de tipo económico y social (positivos o negativos) que la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas puede provocar en los productores, en la práctica no ha sido estudiada. A partir de que la fertilidad del suelo es mejorada, en consecuencia, se incrementan la productividad y los rendimientos; por lo tanto, se generan potenciales beneficios económicos y sociales, los cuales tampoco han sido estudiados, lo mismo que los efectos en la calidad de vida de los productores y sus familias.

4. BENEFICIOS ECONÓMICOS POR EL USO DE BIOSÓLIDOS

Según investigaciones realizadas en México, en cuanto al impacto que la utilización de biosólidos ha producido en la economía de los cosecheros y sus familias, se ha logrado encontrar que el 91.7% ha considerado mayores sus producciones después de utilizar los biosólidos y el 8.3% ha estimado que no hubo cambio en los rendimientos cuando aplicaron biosólidos a sus productos agrícolas. Los porcentajes que destina normalmente para la alimentación de su familia, para la venta, para la alimentación de sus animales y para la semilla del próximo ciclo de cultivo. Se pudo observar que los productores que venden fracciones de su cosecha, el 66.6% considera sus ingresos económicos han aumentado después de aplicar la metodología del biosólido. Los cosecheros restantes 33.3% considera que no hay ningún cambio.

Continuando desglosando esta reflexión, se puede ver como los beneficios obtenidos por los cosecheros que han manifestado conseguir mayores ingresos económicos por venta de cosecha, se encontró lo siguiente: ninguno adquirió terrenos en compra o renta, solamente uno adquirió animales; ninguno realizó alguna mejora en su vivienda, uno adquirió servicio telefónico, uno compró herramientas de labranza y uno ahorró. En lo referente a la cantidad de cosecha dedicada para la alimentación de animales, el 45.8% de los productores dedica un 10% de su cosecha a este rubro.

Además, un 25% expreso no tener animales y por lo tanto no destina cosecha para esta actividad. En cuanto al incremento en la producción de rastrojo después de la aplicación de biosólidos, para el 28% ha sido mucho, para el 54.2% se incrementó poco, el 8.3% opinó que nada y un 16.7% no sabe. A la pregunta de si el incremento en la producción de rastrojo lo beneficiaba de alguna manera, el 70.8% de los productores respondió que no. Finalmente, un 29.2% dijo que sí. A este último porcentaje de cosecheros, se le preguntó cómo lo beneficiaba el incremento en la producción de rastrojo, a lo que respondieron lo siguiente: el 71.4% manifestó que tenía más alimento y por más tiempo para sus animales; de igual manera un 14.2% dijo que ahorra dinero en la compra de alimento para sus animales y otro 14.2% dijo que vendía más rastrojo.

5. BENEFICIOS SOCIALES POR EL USO DE BIOSÓLIDOS

En relación a la investigación presente, lo referente a la alimentación de los cosecheros y de sus familiares, se les realizó la siguiente pregunta si el incremento en sus rendimientos había influido de forma positiva en sus hábitos alimenticios. El 58.3% de los encuestados manifestó que no. El 41.7% encuestado dijo que sí. Como podrá observarse esta última parte de cosecheros expreso que la modificación consistía en mayor cantidad de la alimentación rutinaria. Los

cosecheros no introdujeron alimentos nuevos a la canasta familiar. También, en cuanto a servicios como agua potable y energía eléctrica, el 95.8% de los productores afirmó contar con ellos antes de usar biosólidos en sus terrenos. Así mismo, el 4.2% dijo carecer de ellos. Por lo que respecta a drenaje, el 8.3% dijo contar con el servicio y el 91.7% dijo que no.

Se ha demostrado, los beneficios en sentido global proporcionado por utilizar biosólidos en los diferentes terrenos, de acuerdo con la perspectiva de los cosecheros, fue la siguiente: el 20.8% dijo que el beneficio ha sido mucho, el 75% dijo que el beneficio ha sido poco y un 4.2% dijo no existe ningún beneficio. El 100% de los productores dijo estar de acuerdo en continuar utilizando biosólidos en su porción de terreno agrícola.

Se puede afirmar, los biosólidos son materiales orgánicos ricos en nutrimentos, resultado básicamente del tratamiento de las aguas negras residuales, los cuales han sido estabilizados, los cuales son aplicados a los suelos, después de haber cumplido con un proceso de formación específico y estricto criterio de calidad y por lo tanto son adecuados para su aplicación al suelo. Asa mismo, los biosólidos ofrecen la ventaja de poseer bajos costos para proveer de toda esa riqueza de nutrientes a los cultivos. Además, los biosólidos suministran a los suelos calcáreos que se encuentran en las zonas desérticas de hierro, zinc, fósforo, y cobre disponibles para las plantaciones agrícolas Fresquez et al., (1990). Cuando se agrega materia orgánica en los biosólidos se obtiene un aumento en la disponibilidad de estos nutrimentos los cuales son fijados bajo condiciones normales en suelos calcáreos.

La utilización en las plantaciones agrícolas de los biosólidos es una práctica establecida y aceptada en los estados Unidos de Norteamérica y la mayor parte del mundo Maguire et al. (2000). Para este caso se puede poner como ejemplo evidente, el Estado de California con 31 millones de habitantes, los cuales utilizan las tierras agrícolas, el 52% de los biosólidos producidos (390,000 toneladas por año en base seca), asimismo el Estado de Arizona utiliza el 86% de lo que produce, lo cual corresponde a 56,000 ton año- Fondahl (1999). Además, se puede afirmar en la Comunidad Económica Europea más de una tercera parte de biosólidos producidos es reciclado en la agricultura (Sauerbeck, 1993 citado por Akrivos et al. 2000). Finalmente, esta práctica en la aplicación de biosólidos en las plantaciones agrícolas se encuentra fundamentada en satisfacer los requisitos básicos de nitrógeno en los cultivos, logrando con esta medida la prevención y corrección de la sobre aplicación de metales pesados no esenciales, lo que ha mostrado ser una forma efectiva de rehusar benéficamente los productos residuales.

Finalmente, la aplicación de los biosólidos en las zonas agrícolas es una excelente técnica de reciclar de forma útil estos materiales, dando esta práctica como resultado reducir el uso de fertilizantes químicos comerciales. Tester (1990) ha expresado que cuando los biosólidos son aplicados de forma superficial se puede lograr como resultado final un mejoramiento en las características físicas y químicas de los suelos que han sido escogidos para esta práctica, y un enriquecimiento en cuanto a los nutrientes del suelo que satisface parcialmente los requerimientos de fertilización de éste. Se puede afirmar, sin embargo, que existen inconvenientes potencialmente

indeseados en los biosólidos producto esto de su misma estructura, por lo que se recomienda, la evaluación de los mismos de forma rutinaria.

6. CONCLUSIONES

Se puede finalizar esta investigación afirmando que la aplicación de biosólidos a los diferentes suelos en la agricultura de la Republica Dominicana representa una técnica novedosa para este país. Debido esto, se han realizado muy pocas pruebas o ninguna de esta naturaleza. Así mismo, como se logrado observar el rendimiento en las cosechas por parte de los agricultores ha resultado un indicador positivo. Además, los estudios que se han realizado en términos financiero han arrojado sustanciales beneficios económicos por parte de los cosecheros debido a la relación directa y proporcional con la cantidad de superficie de cultivo que poseen y sus beneficios. Se puede resaltar, que las ganancias económicas percibidas varia bastante entre los distintos productores agrícolas. También se ha demostrado que los cosecheros que poseen mayor cantidad de superficie de terreno cultivado bajo la técnica de biosólidos, son en mayor medida beneficiados en términos financieros es decir, logran mayores ganancias por los altos rendimientos y productividad en el momento de las cosechas.

Además, se ha demostrado que los cosecheros que poseen pequeñas porciones de terrenos, no pueden constatar y percibir los beneficios adquiridos bajo la aplicación de los biosólidos, pero esto tiene su explicación financiera y es, que se encuentran por debajo del punto de equilibrio es decir, según los expertos en finanzas, a esto se le denomina el espacio negro o el valle de la muerte, es decir están produciendo por debajo de los límites mínimos que permiten la obtención de beneficios. Las ganancias permitieron a algunos de estos productores contratar servicios como energía eléctrica, agua potable y teléfono. Para la mayoría de los productores los incrementos en los rendimientos solo los han beneficiado en cuanto a su alimentación, al poder aumentar de cantidad su dieta normal.

Finalmente, los cosecheros aunque estando por debajo del punto de equilibrio habría que pernotar, estos se han beneficiado básicamente por las ganancias en especies es decir, su familia se ha alimentado con la recogida de las cosechas. Así mismo, sus animales también se han beneficiado con este estilo de vida, por lo que se puede afirmar que podrían estar por encima del punto de equilibrio debido a que esta porción de los beneficios no han sido ponderados en esta parte. Los especialistas en la materia han puntualizado la necesidad de volver más técnica y científica la práctica de la aplicación de los biosólidos como una forma o cultura de enriquecer los diferentes suelos agrícolas; no con el fin único de aumentar la eficiencia, eficacia y productividad de los suelos agrícolas, sino también, para evitar los riesgos de orden ambientales y la salud de la raza humana y animal del globo terráqueo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta J. (2011): Crónicas: cuenca hidrográfica del río yaque del norte; Global Education Magazine.
- Akrivos, J., D. Mamais, K. Katsara and A. Andreadakis.(2000). Agricultural utilization of lime treated sewage sludge. Water Science and Technology. Vol. 42 No. 9 pp. 203-210.
- Andrade, M. L. et al. (2000) "Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos" Edafología. Volumen 3, número 7, pp. 21-29.
- Bañuelos, G. S. et al. (2007) "Long-term Application of Biosolids on Apricot Production" Communications Soil Science Plant Analysis. Número 38, pp. 1533-1549.
- Basta, N. T., Ryan, J. A. y R. L. Chaney (2005) "Trace Element Chemistry in Residualtreated Soil: Key Concepts and Metal Bioavailability" Journal of Enviromental Quality. Número 34, pp. 49-63.
- Conagua (2011) Estadísticas del agua en México. México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conapo (2005) Índices de marginación 2005. México, Consejo Nacional de Población.
- Coneval (2005) Mapas de pobreza por ingresos y rezago social. México, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Fondahl, L. (1999). Biosolids management in the western region. Biocycle July pp. 70-74. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1974. Soil map of the world. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France. 59 p.
- Fresquez, P., Francis, R. & Dennis G. (1990) Sewage Sludge Effects on Soil and Plant Quality in a Degraded, Semiarid Grassland. 1. Environ. Qual. 19: 324-329.
- González Flores, E., Sandoval Castro, E. y Pérez Magaña, A. (2014). Biosólidos en la producción de maíz: impacto socioeconómico en zonas rurales del municipio de Puebla. Estudios sociales 22(43), 1-14.
- González, F. E. et al. (2011) "Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal" Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Volumen 4, número 27, pp. 291-301
- Granato, T. C. et al. (2004) "Trace Element Concentrations in Soil, Corn Leaves and Grain after Cessation of Biosolids Applications" Journal of Environmental Quality. Número 33, pp. 2078-2089.
- He, Z. L., Yang X. E. y P. J. Stofella (2005) "Trace Elements in Agroecosystems and Impacts on the Environment" Journal of Trace Elements Medical Biology. Número 19, pp. 125-140.

- Hernández-Herrera J. M. et al. (2005) "Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero" *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Volumen 1, número 21, pp. 31-36.
- José P. Arias., MSc, Dr. Pedro A. Núñez, investigador colaborador Invernaderos tropicales (20149) : Aportes para el Fortalecimiento de la Competitividad en el Modelo de Producción Agrícola Bajo Ambiente Controlado. Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales.
- Maguire, R.O., J.T. Sims and F.J. Coale. 2000. Phosphorus solubility in biosólidos-amended farm soils in the Mid-atlantic region of the USA. *J. Environ. Quality* 29: 1225-1233.
- McBride, M. B. (1995) "Toxic Metal Accumulation from Agricultural Use of Sludge: Are USEPA Regulation Protective" *Journal of Environmental Quality*. Número 24, pp. 5-18.
- Montes, H. R. U., Sánchez, N. C., Hernández, G. O., y Valdez, M. S. E. (2003). Biosólidos digeridos anaeróbicamente en la producción de maíz forrajero. *Agricultura Técnica en México*, 29(1), 25-34.
- O'Connor, G. A. et al. (2005) "Sustainable Land Application: An Overview" *Journal of Environmental Quality*. Número 34, pp. 7-17.
- Odlare, M., Pell, M. y K. Svensson (2008) "Changes in Soil Chemical and Microbiological Properties During 4 Years of Application of Various Organic Residues" *Waste Management*. Número 28, pp. 1246-1253
- Renner, R. (2000) "Sewage Sludge, Pros & Cons" *Environmental Science & Technology*. Número 34, pp. 1-19.
- Samaras, V., Tsadilas, C. D. y S. Stamatiadis (2008) "Effects of Repeated Application of Municipal Sewage Sludge on Soil Fertility, Cotton Yield and Nitrate Leaching" *Agronomy Journal*. Número 100, pp. 477-483.
- Sauerheck, D.: 1992, IPCC Update WG III AFOS Section 2. Temperate Agricultural Systems.
- Semarnat (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-004-Semarnat-2000. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación*. 15 de agosto de 2002.
- Singh, R. P. y M. Agrawal (2008) "Potential Benefits and Risks of Land Application of Sewage Sludge" *Waste Management*. Número 28, pp. 347-358.
- Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sand soil. *Soil Sci. Am. J.* 54:827- 831.
- Torri S. y R. Lavado (2009) "Plant Absorption of Trace Elements in Sludge Amended Soils and Correlation with Soil Chemical Speciation" *Journal of Hazards Materials*. Número 166, pp. 1459-1465.

