

Los Biosólidos de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de la Ciudad de Aguascalientes: CARACTERÍSTICAS Y USO

Dr. Francisco José Flores Tena ¹, Biól. Lizbeth Flores Pardavé ²



Figura 1. Espesor de biosólidos en la planta de tratamiento.

INTRODUCCIÓN

Los lodos residuales, conocidos más recientemente como biosólidos, provienen del tratamiento de las aguas residuales, cuyo origen principal son las fuentes domésticas. Los tratamientos a los que son sometidos generalmente estos desechos son el tratamiento primario (físico y químico) y el tratamiento secundario (biológico), aunque si se requiere de un agua más limpia será necesario realizar un tratamiento terciario. Los sólidos de las aguas residuales son removidos durante el tratamiento primario y el tratamiento secundario y al final del tratamiento se denominan

biosólidos y están constituidos con material predominantemente orgánico, aunque también contienen compuestos inorgánicos que incluyen nutrientes para las plantas y elementos traza y patógenos.

La materia orgánica de los biosólidos junto con los nutrientes vegetales y varios elementos traza, que son necesarios para las plantas, hacen de este subproducto un recurso valioso para aplicarlo al suelo como fertilizante, mejorador de textura y estructura u otros usos específicos. La energía contenida en ellos puede ser recuperada, incluso las cenizas resultado de su incineración pueden ser utilizadas. Debido al reconocido valor potencial de estos sólidos, el término biosólidos es usado como sinónimo de la utilidad de este producto proveniente de un desecho (Girovich, 1996); sin embargo, concentraciones altas de

¹ Departamento de Biología, Centro de Ciencias Básicas. Tel. 01 (449) 910-84-04 fforest@correo.uaa.mx

² Departamento de Biología, Centro de Ciencias Básicas. Tel. 01 (449) 910-84-04.

varios elementos traza, compuestos orgánicos tóxicos y los patógenos pueden disminuir su uso benéfico (Epstein, 2003).

Durante las dos últimas décadas, la generación de lodos residuales se ha incrementado en prácticamente todos los países desarrollados y en desarrollo. En 1989 los Estados Unidos produjeron 5.4 millones de toneladas métricas secas de sólidos, en 1998 la cifra aumentó a 6.3 millones, la estimación para el año 2000 fue de 7.1 millones y para el año 2010 de 8.2 millones, mientras que en la Unión Europea se generaron 6.5 millones en 1992 y 7.4 millones en 1999. El uso y la disposición de los lodos y los biosólidos ha cambiado con el tiempo y varía de país a país, de manera general se puede señalar que la aplicación al suelo y la incineración se ha incrementado, en tanto que la disposición en rellenos sanitarios ha disminuido y ha terminado en el océano. Uno de los usos más comunes que se le está dando a los biosólidos es su aplicación en suelos agrícolas, principalmente como fertilizante y mejorador de suelos. Tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea este tipo de uso va en aumento; Francia y Noruega destinan el 58% de sus biosólidos para sus suelos, Dinamarca y Estados Unidos el 54%, España el 50% e Inglaterra el 48% y varios países más utilizan el 40% ó un poco más con este fin (Girovich, 1996; Epstein, 2003).

CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOSÓLIDOS

Las características físicas y químicas de los lodos varían considerablemente de ciudad a ciudad y de país a país, aunque algunas propiedades pueden ser semejantes, en muchos de ellos. Entre las causas que determinan dicha variación, se puede señalar, como la más importante, el tipo de actividades de la población; la existencia de plantas tratadoras de residuos industriales; la cercanía de áreas agrícolas; la eficiencia en los sistemas de tratamientos de los residuos municipales, así como las propiedades químicas naturales del agua y del sustrato sólido de la red de alcantarillado y de los influentes naturales que pudiesen llegar a las plantas tratadoras. Las características de los biosólidos son determinantes para su uso en el suelo, éstas pueden agruparse en tres categorías: físicas, químicas y biológicas

El contenido de sólidos, y de materia orgánica son las características físicas más importantes, el contenido de sólidos afecta el método de aplicación y el crecimiento de las

plantas, mientras que el contenido de materia orgánica puede afectar la disponibilidad y acumulación de nutrientes y elementos traza.

Las propiedades químicas afectan el crecimiento de las plantas, de igual manera como influyen las características químicas y físicas del suelo. Las características químicas más importantes son el pH, las sales solubles, los macro y los micronutrientes para los vegetales, los elementos traza esenciales y no esenciales para los humanos y los animales y los compuestos orgánicos.

Los patógenos son la propiedad biológica más importante de los biosólidos, aunado a ellos también existen poblaciones microbianas indígenas que incluyen bacterias, hongos, actinomicetos y protozoarios, las cuales mejoran y ayudan a la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Considerando todas las propiedades, se puede señalar el contenido de materia orgánica, el cual mejora la estructura del suelo, la retención de la humedad del suelo, el contenido de humedad y la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de nutrientes vegetales, y las propiedades biológicas; la comunidad microbiológica no patógena, hacen de este subproducto un recurso valioso para la agricultura, la silvicultura y la restauración de suelos, ésta última con gran importancia en las últimas décadas por el gran deterioro que hizo el hombre, especialmente durante el siglo pasado.

Con fundamento en lo señalado anteriormente así como debido a la importancia que tiene a nivel mundial, nacional y local el manejo y uso este subproducto, y contando en la Ciudad de Aguascalientes con una planta tratadora de aguas residuales cuya producción de biosólidos es de 200 m³/día, se consideró pertinente realizar una caracterización de los mismos para conocer el riesgo potencial en su uso y también para obtener información básica para estudios de impacto ambiental a realizarse a corto y mediano plazo.

METODOLOGÍA

Durante un año, entre febrero de 2004 y enero de 2005, se tomaron seis muestras de 10 Kg de biosólidos en peso húmedo, de los que se tomaron 500g para estimar el contenido de humedad, 500g para determinar el contenido de pesticidas, 100g

para estimar el contenido de grasas y aceites, 100g para cuantificar el contenido de sustancias activas al azul de metileno (detergentes) y 200g para realizar los estudios microbiológicos, la cantidad restante fue secada a temperatura ambiente a la sombra durante dos semanas. Una vez secos, fueron triturados para realizar con ellos los diferentes análisis químicos.

Las técnicas utilizadas para los análisis de fertilidad y salinidad de los biosólidos fueron las señaladas por la Norma Oficial NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002). Para la determinación de metales totales, coliformes fecales y *Salmonella* sp, se tomaron en cuenta las especificaciones de la Norma Oficial NOM-004-SEMARNAT-2002 (Semarnat, 2003), para los metales extraíbles, se siguió la técnica descrita en el trabajo del autor (Flores, 2000). La materia orgánica se determinó

mediante la carbonización de los biosólidos, sometiéndolos a 550°C durante 20 minutos, para estimar los compuestos orgánicos volátiles, los biosólidos secos fueron sometidos durante 1 hora a 90 °C (AOAC, 1990). Las grasas y aceites fueron extraídas con un equipo soxhlet, las sustancias activas al azul de metileno fueron estimadas mediante extracción con cloroformo, previamente fueron extraídas de los biosólidos en forma de solución, (APHA, 1998). El método de análisis utilizado para la detección de plaguicidas fue el 3540C recomendado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (U.S. EPA, 2003), que consiste en la extracción con acetona-hexano (1:1). Posteriormente, se concentraron, se secaron y se cuantificaron por cromatografía de gases en un cromatógrafo Perkin Elmer Autosystem equipado con detector de captura de electrones.



Figura 2. Biosólidos en el campo, listos para su aplicación a las tierras de cultivo.

RESULTADOS

PARÁMETRO	PRIMER MUESTREO (1)	SEGUNDO MUESTREO (3)	TERCER MUESTREO (5)	Media ± D.E. Media ± D.E.
Análisis de fertilidad (nutrientes intercambiables)				
pH	6.17	6.45	6.26	6.29 ± 0.14
Materia orgánica (%)	27.9	25.8	45.0	32.9 ± 10.5
Nitrógeno inorgánico (µg/Kg)	1363.8	827.9	1053.4	1081.7 ± 269.1
Fósforo Intercambiable (µg/Kg)	18.8	396.0	264.0	226.3 ± 191.4
Potasio "	1446.0	1382.0	1452.0	1426 ± 38.8
Calcio "	4502.0	3760.0	9800.0	6020.7 ± 3293.9
Magnesio "	696.0	1280.0	880.0	952 ± 298.6
Sodio "	78.0	80.0	136.0	98 ± 32.9
Hierro "	301.8	206.0	350.0	285.9 ± 73.3
Zinc "	124.0	108.0	311.0	181 ± 112.9
Cobre "	18.4	12.2	34.3	21.6 ± 11.4
Manganeso "	52.2	18.0	61.0	43.7 ± 22.7
Boro "	5.6	83.2	70.4	53.1 ± 41.6
Análisis de elementos totales				
Nitrógeno total (%)	4.20	4.54	6.34	5.03 ± 1.15
Fósforo total "	0.37	1.23	0.13	0.58 ± 0.58
Potasio "	0.26	0.25	0.28	0.26 ± 0.01
Calcio "	2.76	3.23	5.3	3.76 ± 1.35
Magnesio "	0.62	0.27	0.2	0.36 ± 0.22
Sodio "	0.013	0.02	0.02	0.017 ± 0.004
Hierro (µg/Kg)	16,125	2150.0	8000	8758.3 ± 7018.3
Zinc "	561.9	662.5	923.8	716.1 ± 186.8
Cobre "		175.0	230.5	202.7 ± 39.2
Manganeso "	211.6	75.0	175.0	153.9 ± 70.7
Boro "	1650	600	700	983 ± 579.5
Análisis de salinidad				
Aniones solubles				
Carbonatos meq//L	0	0	0	0
Bicarbonatos "	85.0	68.0	75.0	76 ± 8.5
Cloruros "	18.5	12.0	7.5	12.7 ± 5.6
Sulfatos "	25.9	16.7	21.5	21.4 ± 4.6
Cationes solubles				
Calcio "	32.3	33.0	36.3	33.9 ± 2.1
Magnesio "	23.0	33.0	11.4	22.5 ± 10.8
Sodio "	6.6	1.6	2.7	3.6 ± 2.6
Potasio "	1.2	6.4	8.8	5.5 ± 3.9
C.E. dS/m-1	11.20	8.87	7.92	9.33 ± 1.68

Cuadro 1. Características químicas de los biosólidos provenientes de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes

METAL	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Media ± D.E.
Cr extraíble (mg/Kg)	0.51	1.25	0.35	0.30	0.42	0.28	0.52 ± 0.37
Cr total	54.88	196.87	146.0	38.50	13.0	8.05	76.21 ± 77.39
Cu extraíble	0.68	0.15	0.15	0.06	1.41	0.72	0.53 ± 0.52
Cu total	51.0	28.25	133.0	132.25	267.5	53.5	110.92 ± 88.52
Cd extraíble	<0.01	0.1	0.025	0.03	<0.01	0.12	0.03 ± 0.04
Cd total	1.53	1.45	1.90	0.98	0.95	2.35	1.53 ± 0.54
Fe extraíble	8.75	14.13	11.98	2.61	3.48	4.64	7.60 ± 4.77
Fe total	13,625	38,500	6,400	1,550	9,500	11,975	13,952 ± 12,934
Ni extraíble	21.9	3.13	4.85	3.48	4.32	26.48	10.69 ± 10.57
Ni total	90	75	185.0	181.25	13.5	138.75	113.92 ± 66.89
Pb extraíble	<0.01	<0.01	0.4	0.21	<0.01	0.36	0.18 ± 0.17
Pb total	33.83	39.70	44.75	6.58	19.8	9.98	25.77 ± 15.95
Zn extraíble	5.11	<0.01	4.40	0.77	3.54	5.44	3.21 ± 2.29
Zn total	615	680	715.0	1259.4	875	655	800 ± 242

Cuadro 2. Contenido de metales pesados en los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes.

Compuesto	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Media ± D.E.
Materia orgánica (%)	25.0	24.53	38.50	44.56	49.10	35.80	36.25 ± 10.03
C.O.V. (%)	0.41	0.53	0.32	0.91	0.98	0.82	0.66 ± 0.27
Grasas y aceites (g/Kg base seca)	14.25	93.71	52.2	180.5	126.8	97.2	94.11 ± 57.75
S.A.A.M. (mg/Kg peso seco)	40	46	77	450	366	61	173.28 ± 184.19
Aldrin (µg/Kg)			*	<1.5	<3.5	<2.0	
Dieldrin (µg/Kg)			*	<0.1	<0.2	<0.1	
D.D.E. (µg/Kg)			*	<0.3	<0.3	<0.3	
Aroclor (µg/Kg)			*	<0.9	<0.8	<0.8	
Hexaclorobenceno (µg/Kg)			*	<0.5	<0.5	<0.5	
Coliformes fecales (UFC/g.p.s.)	2.1 X 10 ⁶	4.3 X 10 ⁶	2.5 X 10 ⁷	1.5 X 10 ⁷	1.5 X 10 ⁶	9.62 X 10 ⁶ ±	1.03 X 10 ⁷
Salmonella sp (UFC/g.p.s.)	1.5 X 10 ⁶	2.4 X 10 ⁵	1.3 X 10 ⁷	4.3 X 10 ⁶	9.3 X 10 ⁵	3.32 X 10 ⁶ ±	5.71 X 10 ⁶

Cuadro 3. Contenido de ciertos compuestos orgánicos y de microorganismos en los biosólidos con interés en la salud.

C.O.V. = Compuestos orgánicos volátiles S.A.A.M. = Substancias activas al azul de metileno * interferencias impidieron análisis

DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran las características químicas de los lodos residuales, destaca un alto contenido de materia orgánica y nitrógeno total proveniente de la materia orgánica contenida en las aguas negras no degradada, así como de la biomasa de los microorganismos involucrados en la degradación, un alto contenido de elementos como K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu, Mn y B, provenientes de diversas fuentes tanto domésticas, como agrícolas e industriales que le confieren una utilidad como abono para diversos cultivos agrícolas y forestales. Asimismo, se observa una gran variabilidad en las concentraciones obtenidas para los diversos parámetros en los diferentes muestreos, lo que refleja la variabilidad en la composición de los desechos y también en el procesamiento de los lodos (variabilidad en la eficiencia), esto último comunicado por personal de la planta. Los valores obtenidos concuerdan por lo reportado por otros autores como Kouloumbis *et al.* (2000), Wong *et al.* (2001) y Korboulewsky *et al.* (2002).

Por lo que se refiere al contenido de metales pesados (Cuadro 2), al igual que para las características químicas, se observó una gran variabilidad en los resultados obtenidos en los seis muestreos, lo que se refleja en los valores de la desviación estándar que son semejantes e incluso mayores que el valor promedio. Al comparar los valores de las formas extraíbles con lo reportado por Wong *et al.* (2001) la concentración de Cd es similar, la de Ni es mayor, la de Pb ligeramente mayor, la de Fe mayor y las de Cu y Zn fueron menores. Cuando se comparan las concentraciones totales con lo reportado por Kouloumbis y colaboradores (2001), el contenido de Cd, Cu y Zn es sensiblemente menor en nuestras muestras; sin embargo, cuando se comparan con los resultados de Korboulewsky *et al.* (2002) las concentraciones de Cu y Pb fueron similares, mientras que las de Cd, Ni y Zn resultaron más altas en Aguascalientes.

Los valores obtenidos para las formas extraíbles, solubles en agua ligeramente acidulada, fueron sensiblemente menores que los valores totales, las cuales sirven para establecer los valores límite contemplados en la Norma Oficial Mexicana NOM 004-SEMARNAT-2002 Protección Ambiental.-Lodos y biosólidos. De los siete metales analizados, seis están considerados en la norma, el único que no lo está es el Fe. Todos están por debajo de la

norma y solamente el níquel se acerca a la mitad del valor establecido como límite. De acuerdo con la norma ninguno representa un riesgo ambiental.

Al igual que lo observado en los Cuadros 1 y 2, el Cuadro 3 muestra una gran variabilidad en los resultados de los diferentes muestreos. El contenido de materia orgánica y de compuestos orgánicos volátiles coincide con lo reportado por Epstein (2003) y Girovich (1996). La concentración más alta de grasas y aceites fue de 180.5 mg/Kg, este valor—al compararlo con biosólidos provenientes de cinco plantas tratadoras en Vancouver que mostraron concentraciones superiores a 890 mg/Kg—, permiten señalar que estos contaminantes no representan un riesgo ambiental importante (Bright & Healey, 2003).

Por lo que respecta a la presencia de sustancias activas al azul de metileno (detergentes), los valores encontrados coinciden con lo reportado por Jensen *et al.* (2001); el rango reportado por ellos fue de 19-16,500 mg/Kg, el que se obtuvo en los muestreos estuvo comprendido entre 40 y 450 mg/Kg.

Los plaguicidas analizados fueron seleccionados porque, además de ser persistentes están considerados dentro de la docena sucia (Semarnat: Plan Nacional de Monitoreo y Evaluación, 2002) y/o se encuentran entre los 20 compuestos más dañinos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2003). Los valores obtenidos fueron muy bajos, menores en un orden de magnitud para el DDE y el Aroclor a los reportados por McGrath y colaboradores (2000), y apenas un poco mayores, justo por arriba del grado de detección, Bright & Healey (2003) no detectaron dichos pesticidas en los biosólidos de cinco plantas tratadoras de Vancouver.

Tanto los coliformes fecales como las U.F.C. de *Salmonella sp* presentaron valores típicos de lodos residuales (Mavridou *et al.* 2001; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003).

En la última década se han incrementado los estudios sobre el uso de los biosólidos en la agricultura y sus posibles impactos en la biota (Andrés, 1999; Al-Assiuty *et al.*, 2001; Oudeh *et al.* 2002) y aunque todavía hacen falta cierto tipo de estudios ecotoxicológicos, en especial los de mediano plazo que contemplen la acumulación de metales y otros compuestos potencialmente tóxicos en la

microbiota del suelo y en las plantas, los resultados hasta ahora obtenidos generalmente indican poco riesgo ambiental y un riesgo menor a la salud, siempre y cuando se manejen adecuadamente durante las primeras cuatro semanas después de su producción, cuando el contenido de patógenos es alto y muestran viabilidad, si no ha sido aplicado calor u otro tratamiento que los elimine. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002).

CONCLUSIÓN

Con los resultados hasta ahora obtenidos, se puede señalar que los lodos de la planta

tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes pueden ser utilizados como fertilizantes para la agricultura en los cultivos señalados por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, que básicamente excluyen a las hortalizas. Para la remediación de suelos, sin embargo, es conveniente realizar estudios ecotoxicológicos, de preferencia *in situ*, sobre las poblaciones microbianas y de la fauna que se infiere pueden ser más sensibles a ciertos componentes presentes en los biosólidos, como algunos metales pesados, para tener más evidencias del poco riesgo que representaría su uso continuo y generalizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Assiuty, A.I.M., M.A. Khalil & H.M. Abdel-Lateif. 2000. "Effects of dry sludge application on soil microarthropod communities in a reclaimed desert ecosystem". *Pedobiologia* 44: 567-578.
- Andrés, P. 1999. "Ecological risks of the use of sewage sludge as fertilizer in soil restoration: effects on the soil microarthropod populations". *Land Degradation & Development* 10: 67-77.
- AOAC, 1990. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical chemists*. 15th. ed. Arlington, Virginia.
- APHA, AWWA, WEF. 1998. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. APHA, AWWA, WEF. Washington, D.C.
- ATSDR. *Top 20 Hazardous Substances from the CERCLA Priority List of Hazardous Substances for 2003*. www.atsdr.cdc.gov/cxc3.html
- Bright, D.A. & N. Healey. 2003. "Contaminant risks from biosolids land application: Contemporary organic contaminant levels in digested sewage sludge from five treatment plants in Greater Vancouver, British Columbia". *Env. Poll.* 126: 39-49.
- Epstein, E. 2003. *Land application of sewage sludge and biosolids*. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida.
- Flores, T. F.J. 2000. *Toxicidad de los sedimentos de la presa El Niágara (Aguascalientes) implicando a Limnodrilus hoffmeisteri como sistema de prueba*. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias. UNAM.
- Girovich, M. J. 1996. Biosolids characterization, treatment and use: An overview in M.J. Girovich (ed) *Biosolids treatment and management. Processes for beneficial use*. Marcel Dekker. New York. pp: 1-46.
- Jensen, J., H. Lokke, M. Holmstrup, P. H. Krogh & L. Elsgaard. 2001. "Effects and risk assessment of linear alkylbenzene sulfonates in agricultural soil. 5. Probabilistic risk assessment of linear alkylbenzene sulfonates in sludge-amended soils". *Env. Tox. and Chem.* 20 (8): 1690-1697.
- Korboulewsky, N, S. Dupouyet & G. Bonin. 2002. "Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards: Carbon, heavy metals, nitrogen and phosphorus accumulation". *J. of Env. Qual.* 31 (5): 1522-1527.
- Kouloubis, P. E. Rigas & A. Mavridou. 2000. "Environmental problems from the disposal of sewage sludge in Greece". *Int. J. Env. Health Res.* 10: 77-83.
- Mavridou, A., P. Kouloubis, E. Vassalou, F. Rigas & N. Vakalis. 2001. "Microbiological quality of sewage sludge in Greece disposed for agricultural use". *Int. J. Env. Health Res.* 11: 275-279.
- McGrath, D., L. Postma, R.J. McCormack & C. Dowdall. 2000. "Analysis of Irish sewage sludges: suitability of sludge for use in agriculture". *Irish J. of Agr. And Food Res.* 39: 73-78.

- Oudeh, M., M. Khan & J. Scullion. 2002. "Plant accumulation of potentially toxic elements in sewage sludge as affected by soil organic matter level and mycorrhizal fungi". *Env. Poll.* 116: 293-300.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. "NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios muestreo y análisis". *Diario Oficial de la Federación* 31 diciembre 2002. pp:1-75
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. "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* 15 agosto 2003. pp: 18-59.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. 2002. *Plan Nacional de Monitoreo Ambiental*. SEMARNAT. 16 pp.
- Sommers, L.E. 1977. "Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers". *J. Environ. Qual.* 6: 225-232.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2003. www.epa.gov/pesticides/science/models_db.htm.
- Wong, J.W.C., K. Li, M. Fang & D.C. Su. 2001. "Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong". *Env. Int.* 27: 373-380.