

Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia)

The characterization of biosolids produced by the San Fernando wastewater treatment plant in Itagui, Antioquia, Colombia

Katherine Bedoya-Urrego¹, José M. Acevedo-Ruíz², Carlos A. Peláez-Jaramillo² y Sonia del Pilar Agudelo-López³

1 Grupo de Parasitología. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. katherine.bedoya@udea.edu.co

2 Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares-GIEM. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. jacevedor@yahoo.es; directorgiem@gmail.com

3 Investigadora. Grupo de Parasitología. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. pilaragudelo@yahoo.com

Recibido 14 Marzo 2013/Enviado para Modificación 22 Abril 2013/Aceptado 12 Mayo 2013

RESUMEN

Objetivo Realizar la caracterización físico-química, microbiológica y parasitológica en biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia).

Métodos Se analizaron 12 muestras de biosólido tomadas cada mes, de enero a diciembre de 2010 a las cuales se les realizó un análisis físico-químico y microbiológico de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana 5167. Para la determinación y viabilidad de huevos de helmintos se siguió el protocolo descrito en la Norma Oficial Mexicana 004 con modificaciones.

Resultados En las doce muestras analizadas, se encontró una concentración de huevos de *Ascaris lumbricoides* en un rango entre 4 a 22 huevos viables/2g ST. *Salmonella* estuvo presente en todas las muestras y las *Enterobacterias* estuvieron en una concentración mínima de 3000 UFC/g. La concentración de los metales pesados estuvo dentro de los valores recomendados por la norma. Los macro y micronutrientes cumplieron con los parámetros establecidos para los materiales orgánicos usados como abonos. No hubo asociación entre la precipitación y el contenido de patógenos en los biosólidos.

Conclusión Los biosólidos generados en la planta San Fernando tienen un gran potencial para ser usados como abono orgánico, no obstante, deben ser sometidos a procesos de sanitización con el propósito de cumplir con los parámetros indicados en la Norma NTC 5167.

Palabras Clave: Tratamiento de aguas residuales, helmintos, enterobacterias, salmonella, abono, iodos activados (*fuentes: DeCS, BIREME*).

ABSTRACT

Objective This study was aimed at evaluating pertinent physicochemical and microbiological (bacteria and parasites) parameters regarding the biosolids produced by the San Fernando wastewater treatment plant (WWTP) in Itagüí, Antioquia, Colombia.

Methods Twelve samples were collected and evaluated every month from January to December during 2010. The chemical, physical and microbiological tests followed the protocol described in Colombian technical guideline 5167. The protocol described in Mexican official Norm 004 (with some modifications) was used for identifying helminth ova and assessing their viability.

Results All samples proved positive for *Ascaris lumbricoides*, viable ova count ranging from 4 to 22 eggs/2gTS. Both *Salmonella* and *Enterobacteria* were detected in all samples evaluated, the latter having 3,000 colony forming unit (CFU)/g minimum concentration. Biosolid sample values met the heavy metal concentration requirement established by national guidelines. There was no statistical association between rainfall and the pathogen's presence in the biosolids.

Conclusion Our results suggested that the biosolids being produced by the San Fernando wastewater treatment plant (WWTP) could be used as organic fertilizer; however they should be treated/sanitized to meet the stipulations in Colombian technical guideline 5167.

Key Words: Wastewater, helminth, enterobacteria, salmonella, fertilizer, sewage/sludge-based manure (*source: MeSH, NLM*).

El tratamiento de las aguas residuales genera grandes cantidades de biosólidos como subproducto. En Colombia, se estima una producción diaria de 274 toneladas de biosólidos, las cuales provienen principalmente de las plantas de tratamiento de agua residual El Salitre (Bogotá), Cañaveralejo (Cali) y San Fernando (Itagüí) (1, 2).

El tratamiento de los lodos residuales y la disposición de los biosólidos representa aproximadamente 50% del costo total del proceso (3,4), por ésta razón, en las últimas décadas se ha impulsado la búsqueda de alternativas de disposición donde se aproveche su potencial para ser usado como abono orgánico (5,6). Sin embargo, el uso indiscriminado de biosólidos puede causar un impacto negativo en la salud pública y el medio ambiente, debido a la presencia de patógenos y metales pesados (7-9).

La composición físico-química y biológica de los biosólidos es variable; depende del tipo de tratamiento de depuración utilizado, la naturaleza del

agua residual (industrial o doméstica) y la prevalencia de enfermedades infecciosas en la población servida (10,11). Los metales pesados reportados con mayor frecuencia son arsénico, cadmio, cromo, plomo, cobre, mercurio y níquel (9). Los patógenos presentes en los biosólidos corresponden en su mayoría a bacterias, virus, protozoos y helmintos que infectan el tracto gastrointestinal y genitourinario de humanos y animales (12).

En varios países, se han implementado normas con el objetivo de minimizar los riesgos asociados con el uso de los biosólidos. La norma 40 CFR parte 503 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), clasifica los biosólidos de acuerdo con el contenido de patógenos indicadores en dos categorías: clase A para los que pueden ser usados sin restricciones y presentan coliformes fecales en una concentración menor de 1000 UFC/g de sólidos totales (ST), *Salmonella* <3NMP/4g ST, enterovirus <1 UFP/4g ST y huevos viables de helmintos <1/4g ST; los biosólidos clase B pueden ser usados con restricciones (13). La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT contempla microorganismos indicadores similares, sin embargo, establece concentraciones menores a 10 huevos viables de helmintos/g ST para los biosólidos clase B (14). En Colombia, aún no existen normas que regulen el manejo de los biosólidos, no obstante, es posible aplicar algunos parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167 que regula los productos orgánicos usados como fertilizantes o acondicionadores del suelo (15).

La relevancia de los estudios sobre la caracterización de los biosólidos generados en las PTAR de Colombia, está relacionada con la necesidad de usar alternativas seguras de disposición y siguiendo las políticas de desarrollo sostenible. Adicionalmente, este tipo de estudios sirven de base para redactar normas sobre el manejo de los biosólidos acorde con las condiciones propias del país.

En el presente trabajo de investigación, se propuso realizar la caracterización físico-química, microbiológica y parasitológica de los biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se incluyeron muestras de biosólido recolectadas en la PTAR San Fernando, ubicada en el municipio de Itagüí, la cual trata en promedio 1.3 m³/s del agua residual doméstica e industrial generada en los municipios de

Envigado, Itagüí, La Estrella y Sabaneta. Esta PTAR realiza el tratamiento del agua residual mediante un sistema secundario de lodos activados. El lodo residual obtenido como subproducto, es sometido a una estabilización mediante digestión anaerobia. Actualmente, se calcula una producción de 85.5 toneladas/día de biosólido.

Las muestras se tomaron de las centrifugas deshidratadoras mes a mes (enero a diciembre de 2010), se les hizo un análisis físico-químico y microbiológico de acuerdo con lo establecido en la NTC5167 de 2004. En breve, cada muestra se dividió en dos submuestras, la primera (300 g) se secó al aire para los análisis físicos densidad, tamaño de partícula (TP) y capacidad de retención de agua (CRA), la segunda (100 g), se secó a 105°C, 4 horas, se molió y se filtró a través de una malla #100 (Standard Testing Sieve A.S.T.M.E-11) para los análisis químicos carbono orgánico (CO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

La determinación de densidad se realizó llenando un recipiente de 500 cm³ con la muestra y registrando el peso adicionado; La CRA se determinó de acuerdo con el método de la pasta saturada. Para el TP, se seleccionaron partículas <150 µm mediante un tamiz (standard testing sieve A.S.T.M.E-11) y se midieron en el equipo Mastersizer. La CIC se determinó según el método de acetato de amonio 1 N, pH 7.0; el CO según el método indirecto de Walkey Black y las cenizas por calcinación según el método AOAC oficial Method 967.04.

La determinación de los metales pesados (Cr, Pb, Cd, Ni), se hizo mediante absorción atómica de llama. Cada muestra se analizó por triplicado. Se evaluó la toxicidad del biosólido utilizando *Raphanussativus* como modelo y con concentraciones P/V del 2,5, 5, 7 y 10 % de biosólido.

Para la caracterización microbiológica, se realizó el recuento de meso-aerobios, termo-aerobios, Enterobacterias, *Salmonella*, mohos y levaduras, utilizando el método estándar de recuento en placa por siembra en profundidad descrito en la NTC 5167.

Detección y viabilidad de huevos de helmintos

Se realizó con base en el protocolo descrito en la NOM 004 de 2002, anexo V (14). La precisión de la técnica, se determinó mediante los porcentajes de recuperación en muestras cebadas con cantidades conocidas de huevos de *Ascaris lumbricoides*, procedentes de la colección de muestras del

Grupo de Parasitología. Para esto, se aplicó el protocolo de concentración a dos muestras de biosólido, una de ellas fue cebada y la otra fue utilizada para determinar la concentración base de huevos de *A. lumbricoides*. Para el cálculo del porcentaje de recuperación, se restó el número de huevos observado en la muestra de biosólido sin cebar al total de huevos obtenidos en la muestra cebada. Se hicieron varios experimentos en los que se controlaron y modificaron los pasos del protocolo donde se observaron los mayores porcentajes de pérdida de huevos, hasta obtener un porcentaje de recuperación aceptable.

El recuento de huevos de helmintos de cada muestra obtenida se relacionó con el promedio de lluvia del mes correspondiente al momento del ingreso del residual a la PTAR. Se tuvieron en cuenta los datos de pluviosidad registrados en las subestaciones meteorológicas ubicadas en San Antonio, Ayurá y Caldas ubicadas en la zona sur de la ciudad a la cual sirve la planta.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico *Statistical Package for the Social Sciences for Windows, software SPSS* versión 20. Se hizo un análisis descriptivo univariado y coeficientes de correlación.

RESULTADOS

Análisis físico-químicos

La humedad de las muestras de biosólido se mantuvo constante durante el estudio, con valores cercanos al 60% (mínimo 59,4 % y máximo 66,5 %). Los macronutrientes (N, P, K, Ca) y micronutrientes (Na, Zn, Al y Mg), presentaron valores adecuados para los fertilizantes y enmiendas orgánicas (Tabla 1). Los resultados en la concentración del carbono orgánico fueron variables, mostrando resultados inferiores a lo recomendado en la NTC 5167 en la mayoría de los meses analizados (mínimo 12% y máximo 16,1%). La capacidad de intercambio catiónico se encontró dentro de los valores permitidos (superior a 30meq/100g) en la mayoría de los análisis realizados mostrando una leve disminución en los últimos tres meses del estudio.

En el ensayo de fitotoxicidad, se encontraron porcentajes de germinación de *Raphanussativus* superiores al 90 % en todas las concentraciones evaluadas. En la Tabla 2 se muestran los resultados de otras variables físico-químicas sobre la calidad del biosólido como abono orgánico.

Concentración de metales pesados

Los resultados de las mediciones de los metales mostraron una gran variabilidad con valores máximos de 894,6 ppm, 11,17 ppm, 94,6 ppm y 398,2 ppm para Cr, Cd, Pb y Ni respectivamente, sin embargo, todos los valores estuvieron dentro de los parámetros recomendados en la norma (Tabla 2).

Tabla 1. Contenido de macro y micronutrientes en los biosólidos de la Planta San Fernando

Mes	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %	Sodio %	Calcio %	Magnesio %	Zinc %	Carbono Orgánico oxidable total % (15%)*
Enero	2,1	2,9	1,3	0,5	2,8	0,5	0,318	15
Febrero	4,5	2,2	0,2	0,2	3,7	0,5	0,18	15
Marzo	2,6	0,9	2,6	0,2	2,6	2,3	0,013	12
Abril	2,9	2,2	0,3	0,2	4,2	0,6	0,179	14
Mayo	2,4	1,3	0,4	0,1	1,9	0,4	0,257	13
Junio	2,4	1,7	0,3	0,1	2,6	0,5	0,492	13
Julio	2,6	4,9	0,6	0,2	1,9	0,5	0,517	16
Agosto	2,0	3,5	0,3	0,1	2,3	0,4	0,196	15
Septiembre	2,2	1,8		0,1	3,3	0,5	0,175	12
Octubre	2,0	0,4		0,1	2,5	0,5	0,211	15
Noviembre	2,0	1,9	0,4	0,041	1,7	0,4	0,272	12
Diciembre	2,0	1,3	0,2	0,4	5,5	0,8	0,369	13

*Valor recomendado en la NTC 5767

Tabla 2. Variables físico-químicas del biosólido de la Planta San Fernando

Mes	Cenizas % (<60%)*	Relación C/N	CIC meq/100g (30meq/100g)*	pH	Densidad g/ml
Enero	62,9	7,8	33,9	7,2	0,7
Febrero	60,0	3,3	40,8	6,7	0,5
Marzo	64,0	4,7	49,8	7,2	0,51
Abril	62,7	5,0	38,0	6,6	0,5
Mayo	66,7	5,5	35,9	6,5	0,5
Junio	65,3	5,6	30,0	7,6	0,5
Julio	64,6	6,2	27,5	7,7	0,5
Agosto	67,2	8,0	23,0	7,1	0,6
Septiembre	65,7	5,9	49,0	7,7	0,4
Octubre	68,1	7,5	26,9	7,3	0,4
Noviembre	64,2	6,4	24,0	7,0	0,3
Diciembre	64,7	7,1	25,9	7,4	0,4

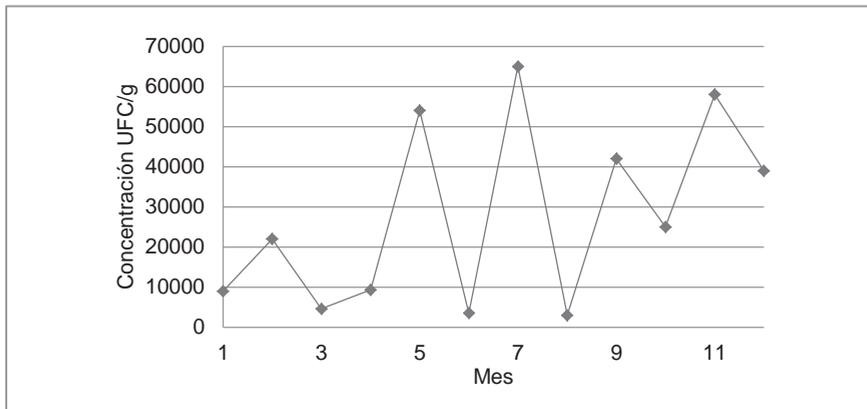
*Valor permitido en la NTC 5167

Concentración de patógenos

En todas las muestras analizadas, se reportó la presencia de *Salmonella*/25g. La concentración de Enterobacterias fue muy variable y excedió los valores permitidos en la norma NTC 5167 en todos los análisis, el menor valor registrado fue de 3000 UFC/g (Figura 1).

Puesta a punto de las técnicas de determinación y viabilidad helmintos en muestras de biosólido

Figura 1. Concentración de Enterobacterias en los biosólidos generados en la planta San Fernando



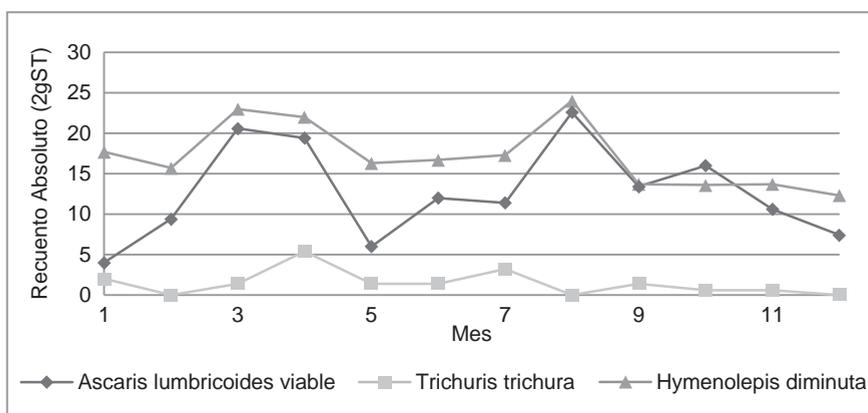
Al aplicar la técnica de concentración siguiendo las indicaciones descritas en la norma, se encontró un promedio de porcentajes de recuperación del $18,5\% \pm 1,9$ en tres experimentos realizados de forma independiente. Debido a que el porcentaje de recuperación no se consideró aceptable se decidió evaluar todos los pasos del protocolo para identificar en cuál de ellos se estaba presentando la pérdida de los huevos de *Ascaris lumbricoides* y se observó que después de la centrifugación con el sulfato de zinc y de la centrifugación con la solución de alcohol ácido se encontraban huevos en la interfase y en el sobrenadante respectivamente en cantidad variable, siendo más abundante en la interfase después de la centrifugación con el sulfato de zinc. También se observó que después de incrementar las gravedades y el tiempo de centrifugación en el paso del alcohol éter no se consiguió la sedimentación completa de los huevos de helmintos.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se decidió eliminar el paso de la centrifugación con la solución de alcohol ácido y tomar tanto la

interfase como el sobrenadante después de la flotación con sulfato de zinc y filtrarlo a través del tamiz # 500 (poro de 25 μm) tal como lo indica la norma NOM 004, para eliminar el sulfato de zinc y evitar dificultades al sedimentar los huevos de helmintos debido a la densidad de la solución. En éstas condiciones, se alcanzó un porcentaje promedio de recuperación del $53,5\% \pm 2,4$ en tres experimentos independientes.

Se encontraron huevos de *Ascaris lumbricoides* viables en las 12 muestras analizadas. En algunas muestras, se observaron huevos de *Toxocara* spp. viables en cantidad baja y se reportaron huevos de *Hymenolepis diminuta* en todas las muestras procesadas (Figura 2).

Figura 2. Concentración de helmintos de importancia médica en los biosólidos generados en la planta San Fernando



Pluviosidad

De acuerdo con los promedios de lluvias en las tres subestaciones analizadas, se encontró que sólo hubo tiempo seco en el primer mes del estudio (0,207mm/h) y los demás meses hubo lluvias torrenciales con un promedio de 3778,64 mm/h. Al realizar los análisis estadísticos, se encontró que no hubo relación significativa entre las precipitaciones y las concentraciones de patógenos encontrados en las muestras de biosólidos ($p > 0.05$).

DISCUSIÓN

El análisis físico-químico mostró que los biosólidos generados en la PTAR San Fernando tienen potencial agronómico para ser usados como

abono o enmienda orgánica. Se ha reportado que las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio necesarias para el crecimiento normal de la mayoría de las plantas, se encuentran alrededor del 3 %, 0,2 % y 0,4 % (16) respectivamente. En este estudio, se reportaron valores similares a lo observado por Torres y colaboradores, quienes encontraron concentraciones de 2,37 %, 0,87 % y 0,1 % para el nitrógeno, el fósforo y el potasio en biosólidos generados en la PTAR Cañaveralejo de Cali (17).

Varios estudios han evidenciado que la aplicación de los biosólidos favorece las características físico-químicas del suelo y la producción agrícola. En una investigación realizada por Mantovi, donde se utilizó biosólido como fertilizante en cultivos de maíz y de trigo durante 12 años, se encontró que la aplicación continua mejoró la fertilidad del suelo, lo cual estuvo asociado con el aumento de la materia orgánica en el suelo (18). En Colombia, se han llevado a cabo algunas investigaciones al respecto con resultados similares. La aplicación del biosólido generado en la planta El Salitre en cultivos de rábano rojo en una proporción de 50 % biosólido y 50 % suelo permitió obtener plantas de mayor longitud y porcentaje de germinación(19). Lo anterior, tiene correspondencia con los hallazgos del presente estudio y se relaciona con el alto contenido de materia orgánica favorable para el crecimiento de las plantas y el ensayo fitotóxico donde se encontraron porcentajes de germinación superiores al 90 %.

Las concentraciones de cromo, cadmio, plomo y níquel, reportadas en éste estudio, estuvieron dentro de los valores permitidos en las normas nacionales e internacionales. Es importante resaltar que la planta San Fernando, recibe agua residual de la zona sur del Valle de Aburrá, donde se presenta una gran actividad industrial y este resultado indica que la eliminación de los materiales compuestos por metales pesados, se está haciendo de forma adecuada (Tabla 3).

Aunque el análisis de la composición físico-química de los biosólidos generados en la PTAR San Fernando, favorece su aplicación en suelos, en esta investigación, se encontraron concentraciones de Enterobacterias y *Salmonella* spp. superiores a los valores recomendados en la NTC 5167, por lo tanto, se evidencia el riesgo potencial que representa el uso indiscriminado de éstos biosólidos (15). En otros reportes sobre el contenido de patógenos en los biosólidos de la PTAR San Fernando siguiendo las indicaciones de la EPA, se han encontrado concentraciones de coliformes

fecales de $7,8 \times 10^5$ NMP/g, por lo que el biosólido ha sido clasificado como B (V.R. menos de 1000NMP/g clase A, menos de 2×10^6 NMP clase B) (2).

Tabla 3. Concentración de metales pesados en los biosólidos de la planta San Fernando

Mes	Cromo ppm (1200 ppm)*	Cadmio ppm (39 ppm)*	Plomo ppm (300 ppm)*	Níquel ppm (420 ppm)*
Enero	638,1	0,003	32,4	321,3
Febrero	518,2	11,17	47,7	281,7
Marzo	**	0,003	**	19,6
Abril	661,2	1,44	51,6	398,2
Mayo	627,8	**	94,6	220,1
Junio	448,4	2,97	34,4	1,5
Julio	505,3	0,83	36,5	185,2
Agosto	894,6	0,51	56,0	171,0
Septiembre	612,7	1,1	25,3	179,7
Octubre	299,6	0,003	0,01	108,6
Noviembre	768,2	0,003	24,7	135,3
Diciembre	684,4	0,45	91,8	124,8

*Valores permitidos en la NTC 5167

Los huevos de helmintos son un parámetro clave para garantizar la inocuidad de los biosólidos, debido a que, los virus y las bacterias patógenas permanecen viables durante uno a tres meses en el agua residual, mientras que los helmintos sobreviven hasta por un año (12,20). Además, se ha establecido que la asociación de los microorganismos con la materia orgánica potencia sus periodos de sobrevivencia. En estudios realizados en diferentes países de América Latina, se han encontrado concentraciones altas de huevos de helmintos en muestras de biosólido; se estima que el rango de huevos de helmintos oscila entre 70 y 3000/L en aguas y lodos residuales de los países en vía de desarrollo, mientras que en países como Estados Unidos es de 1 a 8/L (11,21).

En esta investigación, se encontró una gran variabilidad en cuanto a la concentración de helmintos ($CV=46,3\%$), en las 12 muestras analizadas, sin embargo, los resultados de todos los análisis excedieron el valor permitido en las normas internacionales. Dentro del grupo de los cestodos se encontraron concentraciones muy elevadas de *Hymenolepis diminuta*, no se realizó la determinación de viabilidad, por lo tanto, se desconoce si existen riesgos de infección con este parásito.

En Colombia, existe poca información sobre el contenido de helmintos en los biosólidos, en un estudio realizado en la Universidad Javeriana,

donde se determinó la viabilidad de huevos de helmintos en biosólidos provenientes de una PTAR, ubicada en la zona norte de Bogotá, mediante el protocolo descrito por la EPA, se encontró una viabilidad menor a 1/4g de peso seco, por lo que se concluye que el biosólido es clase A de acuerdo, sin embargo, la concentración de coliformes fecales excede los valores permitidos y clasifica el biosólido como B (22). Torres encontró una concentración de 13 huevos viables/g ST, en el biosólido deshidratado generado en una PTAR de Cali, mediante la técnica de Bailenger modificada (17). El nematodo más frecuente en el presente estudio fue *Ascaris lumbricoides*, lo cual está en concordancia con los reportes realizados en Brasil y en México. Además se relaciona con la alta prevalencia de éste nematodo en el país 23 y con la resistencia de los huevos de ésta especie(24).

Como ya se ha señalado, la concentración de huevos de helmintos en muestras de biosólidos, depende de la prevalencia de la infección en la población. Jiménez y colaboradores reportaron entre 73 y 177 huevos de helmintos viables/g ST en México, siendo *Ascaris lumbricoides* la especie más frecuente (25). En Brasil, se realizó un estudio en 4 plantas de tratamiento donde se reportó un promedio de 237 huevos de helmintos y la viabilidad fue del 30 %; el 85 % correspondió a *Ascaris lumbricoides* seguido por *Toxocara* spp. con un 5.5 % (26). Las altas concentraciones de huevos de helmintos en países en vía de desarrollo, contrastan con los hallazgos en los biosólidos generados en países desarrollados, Guzmán y colaboradores, reportaron concentraciones menores a 1 huevo viable/10g ST, en muestras de biosólidos generados en una PTAR de España (22).

Se ha postulado que las aguas de escorrentía generadas por las precipitaciones que llegan al sistema de alcantarillado, influyen en la concentración de microorganismos presentes en los biosólidos. Se reportaron lluvias torrenciales en 11 de los 12 los meses en los que se realizó la presente investigación, debido al fenómeno climático “La Niña” y por lo tanto, no fue posible establecer una asociación entre las variaciones de las precipitaciones y la concentración de patógenos en el biosólido.

Se concluye que el biosólido generado en la planta San Fernando, tiene un gran potencial para ser usado como abono o enmienda orgánica desde el punto de vista de la composición físico-química. Sin embargo, su aplicación directa debe ajustarse a las indicaciones de la norma 40 CFR parte 503 de la EPA o debe ser sometido a procesos adicionales de

sanitización antes de ser aplicado en suelos y de esta forma cumplir con lo establecido en la NTC 5167 ♦

Agradecimientos: Al personal de la PTAR de San Fernando de EPM por el suministro de las muestras de biosólido durante el tiempo que duró el estudio. El grupo GIEM agradece al programa de Sostenibilidad del Comité para el Desarrollo de la Investigación-CODI de la Universidad de Antioquia.

Financiación: Este trabajo fue financiado por COLCIENCIAS (Código 111549326128) y el Comité para el Desarrollo de la Investigación-CODI de la Universidad de Antioquia (Código CPT 0813).

REFERENCIAS

1. Gantzer C, Gaspard P, Galvez L, Huyard A, Dumouthier N, Schwartzbrod J. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water research*. 2001 Nov;35(16):3763-70. Pub Med PMID: 12230157.
2. Dáguer G. Gestión de biosólidos en Colombia. 46 congreso internacional ACODAL: Sociedad, ambiente y futuro;2004.
3. Appels L, Baeyens J, Degreve J, Dewil R. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2008;34:755-81.
4. Campbell H. Sludge management-future issues and trends. *Wat Sci Tech*. 2000;41:1-8.
5. Singh R, Agrawai M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*. 2008;28:347-58.
6. Wang X CT, Ge Y, Jia Y. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;160:554-8.
7. Viau E, Bibby K, Paez-Rubio T, Peccia J. Toward a consensus view on the infectious risks associated with land application of sewage sludge. *Environmental science & technology*. 2011 Jul 1;45(13):5459-69. PubMed PMID: 21644497.
8. Eriksson E CN, Schmidt J, Ledin A. Potential priority pollutants in sewage sludge. *Desalination*. 2008;226:371-88.
9. Smith SR. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environ Int*. 2009 Jan;35(1):142-56. PubMed PMID: 18691760.
10. Arulrajaha A DM, Suthagararb V, Imteaza M. Select chemical and engineering properties of wastewater biosolids. *A Arulrajaha, MM Disfania, 1, V Suthagararb, 2, M Imteaza, 1,.* 2011;31:2522-6.
11. Jimenez B, Maya C, Sanchez E, Romero A, Lira L, Barrios JA. Comparison of the quantity and quality of the microbiological content of sludge in countries with low and high content of pathogens. *Water Sci Technol*. 2002;46(10):17-24. PubMed PMID: 12479448.
12. Sidhu JP, Toze SG. Human pathogens and their indicators in biosolids: a literature review. *Environ Int*. 2009 Jan;35(1):187-201. Pub Med PMID: 18790538.
13. EPA. Biosolids generation, use, and disposal in the United States 40 CFR Part 503. United States Environmental Protection Agency; 1999.
14. NOM-004-SEMARNAT Sdmapedes. 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; 2003.

15. 5167-NTC5167 Ntc. Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo;2004.
16. Hue N, Silva J. Organic Soil Amendments for Sustainable Agriculture: Organic Sources of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium. *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*;2000. Epub 144.
17. Torres P EJ, Pérez A, Imery R, Nates P, Sánchez G, Sánchez M, Bermúdez A. Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales-PTAR. *Revista ingenierías e investigación*. 2005;25:53-61.
18. Mantovi P, Baldoni G, Toderi G. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water research*. 2005 Jan-Feb;39(2-3):289-96. PubMed PMID: 15644237.
19. Ramírez R, Pérez M. Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rabano rojo (*Raphanus sativus* L.). *RevFacNalAgrMedellín*. 2006;59. Epub 3556.
20. Nelson K, Jimenez B, Tchobanoglous G, Darby J. Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico. *Water Research*. 2004;38:111-27.
21. Maya C, Torner-Morales FJ, Lucario ES, Hernandez E, Jimenez B. Viability of six species of larval and non-larval helminth eggs for different conditions of temperature, pH and dryness. *Water Res*. 2012 Oct 1;46(15):4770-82. PubMed PMID: 22794801.
22. Guzmán C, Campos C. Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. *Universitas Scientiarum*. 2001;9.
23. Álvarez M, López A, Giraldo N, Botero J, Aguirre D. Situación socioeconómica, desnutrición, anemia, deficiencia de hierro y parasitismo en niños que pertenecen al programa de complementación alimentaria alianza MANA-ICBF. Antioquia 2006. MANA. *Perspectivas en Nutrición Humana*; 2007.9.
24. Navarro I, Jimenez B, Lucario S, Cifuentes E. Application of Helminth ova infection dose curve to estimate the risks associated with biosolid application on soil. *J Water Health*. 2009 Mar;7(1):31-44. PubMed PMID: 18957773.
25. Jimenez B. Helminth ova control in sludge: a review. *Water Sci Technol*. 2007;56(9):147-55. PubMed PMID: 18025742.
26. Paulino RC, Castro EA, Thomaz-Soccol V. Sludge anaerobic treatment and its efficiency in reducing the viability of helminth eggs. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. 2001 Sep-Oct;34(5):421-8. PubMed PMID: 11600907.