

# CONTAMINACIÓN POTENCIAL POR BIOSÓLIDOS DEPOSITADOS EN UN CAMPO DEPORTIVO

POTENTIAL POLLUTION FROM SEWAGE SLUDGE DEPOSITED ON A SPORTS FIELD

Juana Alvarado Ibarra<sup>1\*</sup>, Iileem Aguilar Gastelum<sup>2</sup>, Gerardina Nubes Ortiz<sup>3</sup>, Luis Eduardo Velázquez Contreras<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Sonora, Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Av. Luis Encinas y Rosales s/n, col. Centro, Hermosillo, Sonora, México. 83000

<sup>2</sup> Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Industrial, estudiante de Especialidad en Desarrollo Sustentable. Av. Luis Encinas y Rosales s/n, col. Centro, Hermosillo, Sonora, México. 83000

<sup>3</sup> Universidad de Sonora, Departamento de Investigación Científica y Tecnológica, Av. Luis Encinas y Rosales s/n, col. Centro, Hermosillo, Sonora, México. 83000

<sup>4</sup> Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Industrial, Av. Luis Encinas y Rosales s/n, col. Centro, Hermosillo, Sonora, México. 83000

## RESUMEN

Se presentan los resultados de los análisis microbiológico, huevos de helminto y químico elemental de los lodos que son depositados en el suelo de un campo deportivo y que provienen de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la ciudad de Hermosillo, Sonora. Usando diferentes técnicas se analizaron los parámetros de coliformes totales y fecales, huevos de helmintos y *Salmonella* spp. También se determinó la composición química elemental a través de un microanálisis por energía dispersiva de rayos x. Se analizó, además, *Escherichia coli* en muestras de agua obtenidas del final del proceso de tratamiento, usando la técnica de Número Más Probable. Los resultados, según la NOM-004-SEMARNAT-2002, muestran que los indicadores coliformes fecales y *Salmonella* spp, están por encima de los límites establecidos, para el indicador de huevos de helmintos se clasifican como tipo B y se encontró cobre por debajo de los límites permisibles. Para el caso de las muestras de agua, en todos los tubos se encontraron valores positivos de *Escherichia coli*. Se concluye que los lodos no clasifican en ninguna categoría establecida en la normatividad mexicana para su aprovechamiento como mejorador de suelo en uso agrícola o forestal. Aunque antes de su disposición los lodos son estabilizados con cal, el tratamiento no garantiza la inocuidad del biosólido.

**Palabras claves:** biosólidos, coliformes totales, coliformes fecales, *Salmonella* spp., *Escherichia coli*.

## ABSTRACT

In this study we present the results of microbiological, helminth ova and elemental chemistry analyses of sewage sludge that are deposited on the soil of a sports field and that come from secondary treatment of waste water treatment plant located in Hermosillo city, Sonora. Several techniques of the Mexican laws were used to analyze total and fecal coliforms, helminth ova and *Salmonella* spp. Also the elemental chemical composition of the sludge was determined by ener-

gy dispersive x-ray spectroscopy microanalysis. Furthermore, *Escherichia coli* was analyzed from final samples of treated water, this was performed with the Most Probable Number method. The results show that the analyzed sludge exceeds the limits established in the Mexican official standard NOM-004-SEMARNAT-2002 for fecal coliforms and *Salmonella* spp., while the microbiological indicator for helminth ova corresponded to classification type B; from the elemental analysis, copper was found below the permissible limits. For the case of water samples all were found positive for *Escherichia coli*. We concluded that the sludges do not classify in any established category in the Mexican regulations for its use as a soil improver in agricultural or forest land. Although the sludge is stabilized with lime before its disposal, treatment does not guarantee the safety of biosolids.

**Keywords:** biosolids, total coliforms, fecal coliforms, *Salmonella* spp., *Escherichia coli*.

## INTRODUCCIÓN

En México, el agua usada en abastecimiento público es sometida a tratamiento en una de las 2 342 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) municipales (SEMARNAT-CONAGUA, 2014). Según la Comisión Nacional del Agua, en el año 2013 se trataron 105.9 m<sup>3</sup>/s de agua residual municipal, el 57.32% del proceso de tratamiento del agua fue por lodos activados (CONAGUA, 2014), derivado de lo anterior se estima que en México se genera una producción de 480 mil toneladas al año en base seca del subproducto denominado biosólido (Mejía, 2009).

Los biosólidos son materiales orgánicos ricos en nutrientes y diversos estudios demuestran que su uso en el suelo ayudan a reducir el potencial de pérdida de fertilidad edáfica y recuperan la capacidad productiva de éstos, reducen el consumo de fertilizantes químicos, ayudan a conservar las reservas de fósforo y aumenta la sobrevivencia de plantaciones forestales (Araya, 2008; Castañeda y López, 2012). No obstante los beneficios, los biosólidos también se

\*Autor para correspondencia: Juana Alvarado Ibarra  
 Correo electrónico: jalvarado@polimeros.uson.mx

Recibido: 08 de septiembre de 2016

Aceptado: 22 de febrero de 2017

han llegado a considerar como un problema de contaminación tanto para la salud humana como para el ambiente, debido a los grandes volúmenes que se generan y a su diversa composición (Remis y Mendoza-Espinoza, 2012). Según su procedencia pueden tener metales pesados, bacterias y otros microorganismos patógenos e incluso presentarse el desprendimiento de gases como producto de su descomposición con un consecuente mal olor (Reynolds, 2002), aunado a que también son considerados como generadores de altos índices de emisiones de metano, gas que representa el 14 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (GMI, 2013).

En México, para el aprovechamiento y/o la disposición final de los biosólidos se está supeditado a la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, en ésta los biosólidos son clasificados en función de su contenido de metales pesados como excelentes o buenos y en función de su contenido de patógenos y parásitos se clasifican en clase A, B o C (DOF-SEMARNAT, 2003). Para cumplir con la normatividad, los lodos deben de ser tratados, esto se realiza a través de diferentes procesos de estabilización, que pueden ser agregando suficiente cal viva o hidratada, por composteo, por digestión aerobia o anaerobia, entre otros (Oropeza, 2006). En caso de aplicar la estabilización alcalina, en el apartado 4.1.1 de la NOM-004-SEMARNAT-2002 se especifica que las muestras de lodos para análisis deben ser tomadas antes de ser sometidas a este proceso (DOF-SEMARNAT, 2003).

Aunque es bien sabido que, por las características fisicoquímicas y microbiológicas que poseen los lodos y los biosólidos, pueden provocar problemas de salud a la población a través del contacto directo por vía dérmica, ingestión o inhalación y también se puede inducir a enfermedades a través de la cadena alimenticia (Vélez, 2007), en México no existen registros oficiales que reporten el tipo de tratamiento y disposición que cada PTAR da a los lodos que generan, por ende se desconoce si los biosólidos son clasificados con estricto apego normativo y si su disposición final se hace de forma adecuada.

Con base en lo anterior, se hace obligatoria la atención al artículo 4° de la Constitución Política Mexicana que indica que toda persona tiene derecho a la salud y a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, además de generar responsabilidad para quien provoque deterioro ambiental (DOF, 2016). Es así que en el presente estudio se plantearon como objetivos: determinar si los lodos provenientes del tratamiento secundario de la PTAR ubicada en la Unidad Deportiva Nacameri, de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, cumple con los parámetros establecidos en la NOM-004-SEMARNAT-2002, si la disposición de los lodos en el suelo de la propia Unida Deportiva, después de ser estabilizados alcalinamente, es la adecuada (DOF-SEMARNAT, 2003); y finalmente, determinar la eficiencia del proceso de tratamiento de agua a través de la identificación y cuantificación de *Escherichia coli*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

La ciudad de Hermosillo en el estado de Sonora, México, se ubica entre las coordenadas geográficas 20°05'56" de latitud norte y 110°57'15" de longitud oeste a una altitud de 216 msnm (INEGI, 2014). En la ciudad se ubica la Unidad Deportiva Nacameri que cuenta con más de 21 000 m<sup>2</sup> de pasto natural que son regados con agua proveniente de una PTAR instalada dentro de la misma Unidad Deportiva (Gobierno de Hermosillo, 2012). La PTAR consta de 10 fosas de 30 m<sup>3</sup> cada una, en las que se realiza el tratamiento primario y secundario. Según información proporcionada por personal de la PTAR, ésta tiene una capacidad de tratamiento de 11 m<sup>3</sup>/día, generando una cantidad aproximada de 55 kg lodo/día, mismos que son estabilizados alcalinamente y depositados en el suelo de la propia Unidad Deportiva.

### Obtención de muestras

Se tomaron diez muestras de lodo crudo proveniente del tratamiento secundario, una cada semana durante 10 semanas. Las diez muestras se tomaron directamente del vertedor y se mantuvieron en hielo para su transporte al laboratorio, después se mantuvieron a 4 °C hasta su análisis; el muestreo se realizó con base en lo establecido en el Anexo II de la NOM-004-SEMARNAT-2002 (DOF-SEMARNAT, 2003).

De forma simultánea a la toma de muestra de lodo y bajo los lineamientos generales establecidos en la norma mexicana NMX-AA-003-1980 (DOF-SCFI, 1980), se obtuvieron directamente de la descarga al final del proceso de tratamiento, diez muestras simples de agua tratada.

### Análisis de las muestras

El análisis microbiológico y de huevos de helmintos para los lodos se realizó por triplicado, en la tabla número 1 se presentan las técnicas seguidas para cada uno de los parámetros, para el caso de los huevos de helmintos se siguió la técnica establecida en la norma mexicana NMX-AA-113-SCFI-2012 (DOF-SCFI, 2013). También se realizó un análisis de composición química elemental del lodo mediante un microscopio electrónico de barrido marca JOEL JSM-5410LV con espectrómetro de energía dispersa de rayos X (SEM-EDX, por sus siglas en inglés), se usó esta técnica ya que permite

**Tabla 1.** Parámetros evaluados en la caracterización microbiológica del lodo.

**Table 1.** Parameters evaluated in the microbiological characterization of sludge.

Parámetro	Unidad	Técnica
Coliformes totales	Número Más Probable (NMP)/g	NMX-AA-042-SCFI-2015 (DOF-Secretaría de Economía, 2016)
Coliformes fecales	Número Más Probable (NMP)/g	NOM-004-SEMARNAT-2002, Anexo III (DOF-SEMARNAT, 2003)
<i>Salmonella</i> spp.	Número Más Probable (NMP)/g	NOM-004-SEMARNAT-2002, Anexo IV (DOF-SEMARNAT, 2003)

conocer la presencia de elementos contaminantes como los metales. La composición química se determinó a una muestra compuesta que se formó mediante la combinación de las diez muestras de lodos, se secó a 80 °C en una estufa durante 24 horas para eliminar la humedad, se molió y se colocó una pequeña muestra directamente en el portamuestras de aluminio.

Para las muestras de agua, el análisis para *Escherichia coli* se realizó en series de tres tubos, usando el método del Número Más Probable estimado (NMP)/100 mL, a través de diluciones en tubo múltiple usando Indol, Rojo de metilo, Voges-Proskauer, Citrato (IMViC) (CCAYAC-M-004/11, 2014).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se presentan en escala logarítmica los valores promedio de las concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales y *Salmonella* spp., para cada una de las diez muestras de lodo. Se tiene que los coliformes totales, en cuatro muestras están por encima de los valores de coliformes fecales, esto puede ser porque los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, además de que el grupo de coliformes totales incluye microorganismos que son capaces de multiplicarse en el agua (Madigan *et al.*, 2009) y no solo son aportados por el hombre y los animales de sangre caliente, sino que también pueden provenir del suelo y la vegetación (López *et al.*, 2010).

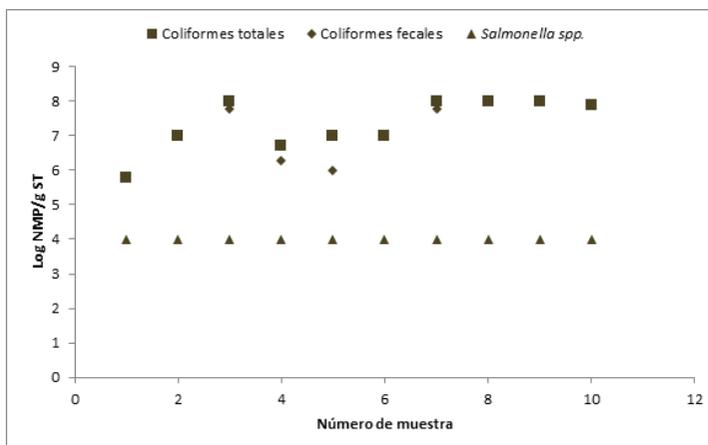
En México no hay normatividad para coliformes totales en lodos, debido a que el grupo de coliformes totales funcionan como alerta de contaminación sin identificar el origen y a que tienen poca utilidad como indicadores de contaminación fecal, sin embargo, en las PTAR los coliformes totales son considerados uno de los mejores indicadores de la eficiencia de la planta de tratamiento (Bitton, 2005).

Durante el análisis de las muestras de lodo se encontró que solo dos de las diez pudieron ser clasificadas según la NOM-004-SEMARNAT-2002 como un lodo tipo C para el parámetro de coliformes fecales, encontrando valores de 3.0

X 10<sup>5</sup> y 4X10<sup>5</sup> NMP/g de base seca. El resto de muestras presentaron valores por arriba de 2X10<sup>6</sup> NMP/g base seca. Los coliformes fecales son indicadores de contaminación fecal en aguas residuales debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras (RIPDA-CYTED, 2003). La utilización de coliformes fecales como estándar de calidad del agua es poco fiable en ambientes acuáticos contaminados con virus y quistes de protozoos, que luego podrían volver a crecer en aguas residuales bajo condiciones apropiadas (Benítez, 2013).

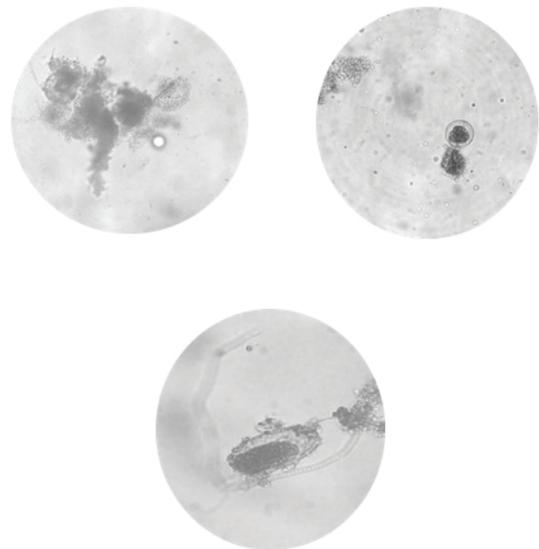
Se puede observar que los valores de *Salmonella* spp. se mantuvieron dos o más unidades logarítmicas por debajo de los valores de los coliformes. No obstante, en todas las muestras se encontraron valores superiores a 2.4x10<sup>3</sup> NMP/g, valor por encima del máximo indicado en la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 para un biosólido tipo C. *Salmonella* spp. es una bacteria considerada un problema de salud pública mundial, relacionada con enfermedades gastrointestinales en humanos (Castrejón *et al.*, 2002; Hernández *et al.*, 2011), causando infección intestinal aguda en personas de todas las edades y causante de infecciones invasivas graves como bacteremia y meningitis en lactantes, ancianos y pacientes inmunosuprimidos (Goldberg y Rubin, 1988), además de que se estima que este patógeno es causante del 30% de mortalidad por enfermedades gastrointestinales (Zaidi *et al.*, 2006) y en México se han llegado a reportar alrededor de 110 000 casos anuales de salmonelosis (López *et al.*, 2009).

En la figura 2 se muestra la imagen de los huevos de helminto encontrados en dos de las diez muestras analizadas, éstos son de la familia *Hymenolepididae* y *Ancylostomatidae*. En la tabla 2 se presentan los resultados para huevos de helmintos del total de muestras analizadas. Comparando los valores obtenidos de huevos de helminto con los valores



**Figura 1.** Concentraciones de coliformes totales y fecales y *Salmonella* spp. en las diez muestras analizadas.

**Figure 1.** Concentrations of total and fecal coliforms and *Salmonella* spp. in the ten samples analyzed.



**Figura 2.** Huevos de helmintos que se observaron en la muestra 1 y 3 de los lodos analizados, corresponden a la familia *Hymenolepis* y *Ancylostomas*.

**Figure 2.** Helminth ova observed in sample 1 and 3 of analyzed sludge, belonging to the *Hymenolepis* and *Ancylostomas* family.

establecidos en la norma oficial mexicana NOM-002-SEMAR-NAT-2002, los lodos provenientes de la PTAR de la Unidad Deportiva Nacameri, son clasificados en la clase B, en la cual se prohíbe el contacto directo con el público.

En la PTAR se recabó información del tratamiento y

**Tabla 2.** Resultados de los análisis de huevos de helmintos realizados al lodo y de *Escherichia coli* hecho a la muestra de agua obtenida al final del proceso.

**Table 2.** Results of the helminth ova analysis from sludge and *Escherichia coli* from the wastewater sample analyzed at the end of the process.

Número de muestra	Huevos de helmintos (HH/g base seca)	<i>Escherichia coli</i> NMP estimado/100mL
1	1	>1100
2	0	>1100
3	2	>1100
4	0	>1100
5	0	>1100
6	0	>1100
7	0	>1100
8	0	>1100
9	0	>1100
10	0	>1100

destino final de los lodos, en donde se evidenció que los lodos en estudio, antes de ser dispuestos en el suelo de la Unidad Deportiva, son estabilizados con cal. No obstante, los huevos de helmintos son un reto para los procesos de tratamiento, ya que son resistentes a cambios en los factores ambientales, sin embargo hay diversos estudios que demuestran que el proceso de estabilización alcalina reduce la densidad y la viabilidad de diferentes huevos de helminto (Morris *et al.*, 1986; Pike *et al.*, 1989).

En la tabla 2 se presentan los valores de *Escherichia coli* de las diez muestras de agua analizadas. Los tubos de todas las diluciones fueron positivos, para realizar la estimación del NMP/100 mL se aplicó la tabla número 8 presentada en el método de prueba para la estimación de la densidad microbiana por la técnica de NMP (CCAYAC-M-004/11, 2014). *Escherichia coli* ha sido ampliamente estudiada y en diversos estudios se evidencian resultados positivos en muestras de agua (Buckwalter *et al.*, 2006; López *et al.*, 2009; Benítez, 2013), aun así se desconoce mucho de su comportamiento, se sabe que la sobrevivencia de *E. coli* en el ambiente es variable, pero no sobrepasa de un día (López *et al.*, 2009).

Este microorganismo se considera de flora normal para el organismo del hombre, no obstante hay descritos seis grupos de *E. coli* diagnosticados como patógenos capaces de causar diarrea, síndrome urémico hemolítico, colitis hemorrágica y cuadros de disentería (Rodríguez-Angeles, 2002), enfermedades que son primera causa de consulta médica y de las primeras causas de muerte en México, que afecta a personas de cualquier edad y condición social (Hernández *et al.*, 2011).

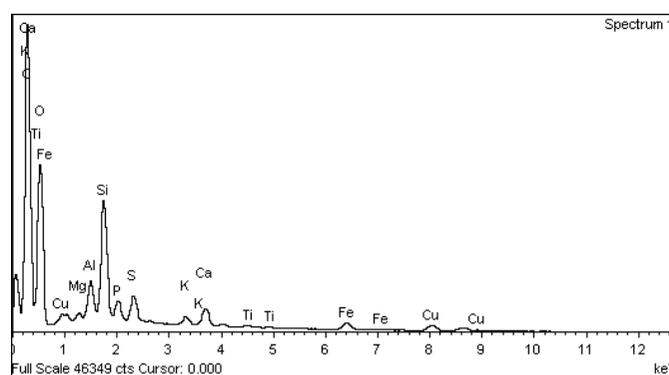
La presencia de *E. coli* en el agua es una fuerte indi-

cación de contaminación de residuos animales, que pueden entrar durante la lluvia (Rock y Rivera, 2014), es actualmente el indicador más confiable de la contaminación bacteriana fecal y la concentración de esta especie en el agua tratada determina el uso a que puede ser destinada, incluyendo usos urbanos, agrícolas, industriales, recreativos o ambientales (Benítez, 2013). En México, la norma oficial mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, establece los valores límite para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios públicos, en ésta se toma como indicador de contaminación de patógenos y parásitos a los coliformes fecales y los huevos de helminto, en donde indica que para el servicio público con contacto indirecto u ocasional, el promedio mensual máximo para coliformes fecales es de 1000 NMP/100 mL (DOF-SEMARNAT, 1998).

En la figura 3 se presenta el espectro de los elementos químicos presentes en el lodo e identificados por el análisis SEM-EDX y en la tabla 3 se muestra su composición en peso porcentual.

El lodo analizado mostró únicamente la presencia de cobre en una composición en peso porcentual de 0.95, valor inferior a lo establecido en la NOM-004-SEMARNAT-2002 y muy inferior a lo encontrado por Ortiz-Hernández y colaboradores (1995) que determinaron una composición porcentual del cobre de 8.3 en los lodos de una planta de tratamiento de la ciudad de Jiutepec, Morelos, México. Sin embargo, por criterios de salud y agronómicos se debe considerar el contenido de metales pesados, tanto de los lodos como de los suelos receptores, para que puedan funcionar dentro de los límites ecosistémicos naturales y no afecten la cadena trófica a través de los cultivos y/o contaminar las aguas freáticas (Paz *et al.*, 2007).

Los lodos en estudio, antes de ser dispuestos en el suelo de la Unidad Deportiva son estabilizados con cal, este método requiere de llevar el pH por encima de 12, aseguran-



**Figura 3.** Espectro por MEB-EDX de la muestra de lodo.

**Figure 3.** SEM-EDX spectrum of the sludge sample.

**Tabla 3.** Análisis MEB-EDX, composición química elemental de la muestra de lodo compuesta.

**Table 3.** SEM-EDX Analysis, elemental chemical composition of the composed sludge sample.

Elemento	C	O	Mn	Si	P	S	K	Ca	Ti	Fe	Cu
Peso (%)	56.00	35.90	0.26	0.99	0.61	0.73	0.27	0.62	0.11	0.64	0.95

do que este valor se mantenga al menos por dos horas para ser usado después de forma directa en suelos ácidos (Mahamud *et al.*, 1996). La estabilización con cal es un método económico y de fácil operación, comparado con digestión aerobia, digestión anaerobia o composteo, sin embargo, según la literatura, tiene la desventaja de que el pH pueda variar y ocasione crecimiento de microorganismos, generación de olores e incremento de masa de los biosólidos a disponer debido a la adición de cal (Limón-Macías, 2013).

Por otra parte, la adición de cal en el proceso de tratamiento de biosólidos puede aumentar el pH del suelo y las aplicaciones de este tipo de biosólidos tienden a incrementar la capacidad amortiguadora de pH en el suelo ya que pueden presentar de 50 a 55% de mineralización de nitrógeno (N) durante el primero año (Flores-Márquez *et al.*, 2007). Aunque este elemento es un nutriente al suelo que puede considerarse un fertilizante valioso (Vélez, 2007), también existe el problema que al acumularse provoque una pérdida gradual de especies vegetales (Martin, 2008).

Los lodos al ser estabilizados poseen materia orgánica y nutrientes que los hacen susceptibles de aprovechamiento, diversos estudios demuestran la contribución de los biosólidos con calidad aceptable como mejoradores del sistema suelo-microorganismos-plantas (Araya, 2008; Castañeda y López, 2012), sin embargo pueden poseer algún contaminante que obligue a su tratamiento (Remis y Mendoza-Espinoza, 2012).

En México es necesario que se cambie de forma paulatina la visión para que los biosólidos se vean como un producto que puede homologar normas de calidad y trazabilidad, que se realice una gestión sustentable en dónde se establezcan operaciones que garanticen que los biosólidos tendrán un destino acorde a su volumen, características, necesidades del conjunto biosólido-receptor y en cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable.

## CONCLUSIONES

Los lodos en estudio, al no cumplir con la totalidad de parámetros indicados en la normatividad y ser dispuestos como fertilizante en el suelo, puede provocar efectos en la salud de los usuarios de la Unidad Deportiva y en la población aledaña.

Los lodos no pueden ser clasificados en ninguna de las clases indicadas en la NOM-004-SEMARNAT-2002, debido a que no cumplen con la totalidad de parámetros establecidos. Con base en el parámetro de huevos de helminto, pueden ser clasificados en la categoría B, no obstante los indicadores de coliformes fecales y *Salmonella* spp. tienen valores superiores a los establecidos en la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Es necesario implementar un tratamiento a los lodos provenientes de la PTAR de la Unidad Deportiva Nacameri, que garantice la eliminación de microorganismos patógenos y de parásitos, a fin de tener un residuo no peligroso, que se pueda usar de forma segura como mejorador del suelo y no sea un peligro para la salud de la población aledaña y el ambiente natural circundante.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la asignación de beca para los estudios de Especialidad en Desarrollo Sustentable de la estudiante Ileen Aguilar Gastelum.

## REFERENCIAS

- Araya, A. 2008. Valorización de biosólidos en suelos degradados. AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. 1: 1-11.
- Benítez, G.A. 2013. Análisis y modelación de la inactivación de *Escherichia coli* en aguas residuales. Memoria para optar por el grado de doctor. Universidad Complutense de Madrid.
- Bitton, G. 2005. Microbial Indicators of fecal contamination: application to microbial source tracking. Florida Stormwater Association.
- Buckwalter, T.F., Zimmerman, T.M. y Fulton, J.W. 2006. Fecal indicator bacteria in the Allegheny, Monongahela and Ohio rivers and selected tributaries, Allegheny County, Pennsylvania, 2001-2005. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report.
- Castañeda, H.J. y López, R. 2012. CEA Jalisco. [Consultado 25 Agosto 2016]. Disponible en: [http://www.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/biosolidos\\_raul\\_lopez\\_cea.pdf](http://www.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/biosolidos_raul_lopez_cea.pdf).
- Castrejón, A; Barrios, J.A; Jiménez, B; Maya, C; Rodríguez, A. y González, A. 2002. Evaluación de la calidad de lodos residuales de México. Ciudad Universitaria: Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- CCAYAC-M-004/11. 2014. Comisión de control analítico y ampliación de cobertura. Método de prueba para la estimación de la densidad microbiana por la técnica del número más probable (NMP), detección de coliformes totales, coliformes decales y *Escherichia coli*. [Consultado 01 Septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.cofepri.gov.mx/TyS/Documents/TercerosAutorizados/CCAYAC-M-004.PDF>.
- CONAGUA. 2014. SGdAPDyS. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales municipales, por caudal tratado, 2012, México, D.F.
- DOF. 2016. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, última reforma publicada el 15 de agosto de 2016. [Consultado 24 Diciembre 2016]. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1\\_150816.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_150816.pdf).
- DOF-SCFI. 1980. Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, aguas residuales-muestreo. [Consultado 24 Diciembre 2016]. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-003-1980.pdf>.
- DOF-SCFI. 2013. Norma Mexicana NMX-AA-113-SCFI-201, para el análisis de agua-medición del número de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica-método de prueba [Consultado 6 Septiembre 2016]. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5295207&fecha=09/04/2013](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5295207&fecha=09/04/2013).
- DOF-SEMARNAT. 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios públicos. [Consultado 24 Diciembre 2016]. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO114OK.pdf>.

- DOF-SEMARNAT. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, para protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. [Consultado 25 Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2006/CDAmbiente/pdf/NOM52.pdf>.
- DOF-Secretaría de Economía. 2016. Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015, para análisis de agua- enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* – Método de Número Más Probable en tubos múltiples. [Consultado 6 Septiembre 2016] Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf>.
- Flores-Márquez, J.P., Corral-Díaz, B. y Sapien-Mediano, G. 2007. Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal en suelos agrícolas. *TERRA latinoamericana*, 25: 409-417.
- GMI. 2013. Global Methane Initiative, El metano de las aguas residuales municipales: Reducir emisiones, avanzar en la recuperación y aprovechar oportunidades. [Consultado 20 Diciembre 2016]. Disponible en: [https://www.globalmethane.org/documents/ww\\_fs\\_spa.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/ww_fs_spa.pdf).
- Gobierno de Hermosillo. 2012. Notas del Gobierno de Hermosillo. [Consultado 26 Agosto 2016] Disponible en: <https://es-la.facebook.com/notes/gobierno-de-hermosillo/abre-sus-puertas-la-unidad-deportiva-nacameri/10151382339948975/>.
- Goldberg, M.B. y Rubin, R.H. 1988. The spectrum of *Salmonella* infection. *Infectious Disease Clinics of North America*. 2: 571-598.
- Hernández, C., Aguilaera, M.G., Castro, G. 2011. Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología* 3: 137-151.
- INEGI, 2014. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [Consultado 26 Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.ceieg.sonora.gob.mx/Files/Publicaciones/Anuario%20Estad%20C3%ADstico%20y%20Geogr%20C3%A1fico%202014.pdf>.
- Limón-Macías, J.G. 2013. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o recurso?. [Consultado 5 Septiembre 2016]. Disponible en: [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_gualberto\\_limon\\_trabajo\\_de\\_ingreso.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf).
- López, O., León, J., Jiménez, M. y Chaidez, C. 2009. Detección y resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* y *Salmonella* en agua y suelo agrícola. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32: 119-126.
- López, I.J., Acevedo, D.R. y Ordóñez, C.A. 2010. Seguimiento a patógenos presentes en biosólido empleado como enmienda para revegetar un talud. *Ingenierías Universidad de Medellín*. 9: 29-40.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Dunlap, P.V. y Clark, D.P. 2009. Brock, biología de los microorganismos. 12ª ed. Pearson.
- Mahamud, M., Gutiérrez, A. y Sastre, H. 1996. Biosólidos generados en la depuración de aguas: (II). Métodos de tratamiento. *Ingeniería del Agua*. 3: 45-54.
- Martin, C. 2008. El exceso de nitrógeno en la tierra mata especies vegetales. [Consultado 5 Septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.novaciencia.com/2008/02/07/el-exceso-de-nitrogeno-en-la-tierra-mata-a-especies-vegetales/>.
- Mejía, E. 2009. Academia de Ingeniería México. [Consultado 25 Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/talleres/aprovechamiento-lodos/Aspectos%20tecnicos%20y%20legales%20del%20manejo%20de%20lodos%20en%20Mexico.pdf>.
- Morris, D.L., Hughes, D.L., Hewitt, R.J. y Norrington, I.J. 1986. Pathogens in sewage sludge: (ii) Effects of sludge stabilization and treatment processes on viability and infectivity of beef tapeworm eggs. *Journal of Institute of Water Pollution Control*. 85: 476-481.
- Oropeza, N. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1: 51-58.
- Ortiz-Hernández, M.L., Gutiérrez-Ruiz, M.E., Sánchez-Salinas, E. 1995. Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 11: 105-115.
- Paz, C., Henríquez, O. y Freres, R. 2007. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Revista de Geografía Norte Grande*. 37: 35-45.
- Pike, E.B., Carrington, E.G. y Harman, S.A. 1989. Destruction of *Salmonellas*, enterovirus and ova of parasites in wastewater sludge by pasturisation and anaerobic digestion. *Water Science and Technology*. 20: 337-343.
- Remis, R. y Mendoza-Espinosa, L. 2012. Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. *Producción más limpia*. 7: 74-94.
- Reynolds, K. 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica, identificación del problema. [Consultado 30 Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf>.
- RIPDA-CYTED. 2003. Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamiento de aguas residuales domésticas. Indicadores de contaminación fecal en agua. En: *Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración de Agua*. Carlos Díaz Delgado (ed), pp 224-229.
- Rock, Ch. y Rivera, B. 2014. La calidad del agua, *E.coli* y su salud. College of Agriculture and Life Sciences, Cooperative extension. The University of Arizona. [Consultado 23 Diciembre 2016]. Disponible en: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>.
- Rodríguez-Angeles, G. 2002. Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli*. *Salud Pública de México*. 44: 464-475.
- SEMARNAT-CONAGUA, 2014. Estadísticas del Agua en México, 2013, México, D.F: s.n.
- Vélez, J. A. 2007. Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *Producción más Limpia*. 2: 57-71.
- Zaidi, M., López, C. y Calva, E. 2006. Estudios mexicanos sobre *Salmonella*: epidemiología, vacunas y biología molecular. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 48: 121-125.