

# Mejoramiento del potencial agrícola de lodos digeridos anaeróbicamente con el uso de cal

## Improving anaerobically digested sludge's agricultural potential by adding lime

Patricia Torres<sup>1</sup>, Luis Fernando Marmolejo<sup>2</sup> y Adriana Botina<sup>3</sup>

**Resumen:** Este estudio evaluó la técnica de secado térmico natural en lechos de secado para la deshidratación de lodos digeridos de una laguna anaerobia que trata aguas residuales domésticas y la influencia sobre la eficiencia de la deshidratación y remoción de patógenos y huevos de helmintos por la adición de diferentes porcentajes de cal viva (CaO), 20%, 40% y 65% en peso, con el objetivo de mejorar el potencial uso agrícola del material. En general, se observó un efecto desfavorable sobre la eficiencia del proceso de deshidratación cuando la cal fue adicionada al inicio, recomendándose una reducción de humedad del lodo hasta un rango entre 65% y 70% antes de la adición de la cal; este nivel de deshidratación fue alcanzado después de 7 a 9 d de secado. El rango de cal evaluado garantizó la elevación del pH hasta 12 unidades durante el tiempo de contacto suficiente para la remoción de patógenos y parásitos. En las condiciones en que fue realizado el estudio, esta investigación mostró que el mejor tratamiento para remover patógenos y huevos de helmintos correspondió a la adición de 20% en peso de cal viva. Las características del material producido permiten sugerir su uso con fines agrícolas como reemplazo total o parcial de fertilizantes químicos, mejoradores de suelos, compostaje, etc., para lo cual se recomienda la realización de pruebas a nivel de invernadero.

**Palabras claves adicionales:** aprovechamiento agrícola, estabilización alcalina, deshidratación, higienización

**Abstract:** This study evaluated the natural thermal drying technique on a sludge bed for dehydrating digested sludge from an anaerobic pond which treats domestic wastewater. It also evaluated its influence on dehydration efficiency and the removal of pathogens and worm eggs by adding different percentages of lime (20%, 40% and 65% CaO) aimed at improving potential agricultural use. A negative effect was generally observed on dehydration efficiency when lime was added at the beginning, a reduction of sludge water content to 65% to 70% being thus recommended before adding lime. Such dehydration level was reached after 7 to 9 d, once sludge dehydration had begun. The evaluated range of lime content guaranteed that pH rose to 12 during contact time, which was sufficient for removing pathogens and parasites. This research showed that the best treatment for pathogens and worm egg removal was obtained by adding 20% lime in the study conditions employed here. The product's final characteristics suggest that it could be used for agricultural purposes such as total or partial chemical fertiliser replacement, for improving soil conditions, composting, etc. it is thus recommended that pilot greenhouse experiments be carried out.

**Additional key words:** agricultural use, alkaline stabilization, dehydratation, ensuring hygiene

### Introducción

TODOS LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO de aguas residuales generan residuos o subproductos sólidos en las diferentes etapas del proceso; su procesamiento, reutilización y

disposición representan uno de los mayores retos en el campo de la ingeniería sanitaria y ambiental, por factores relacionados con la cantidad –alto volumen generado– y la calidad –las sustancias responsables del carácter ofensivo de las aguas residuales son retenidas en los lodos

Fecha de recepción: 01 de septiembre de 2005

Aceptado para publicación: 21 de noviembre de 2005

<sup>1</sup> Profesora asociada, Escuela Eidenar, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali (Colombia). e-mail: patoloz@univalle.edu.co.

<sup>2</sup> Profesor asistente, Escuela Eidenar, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali (Colombia). e-mail: lufermar@univalle.edu.co

<sup>3</sup> Ingeniera sanitaria, Universidad del Valle, Cali (Colombia). e-mail: adrianabotina@hotmail.com.co

y, por lo tanto, deben ser removidas para hacer un adecuado aprovechamiento o disposición final de éstos.

La calidad del producto final depende de las características de los sólidos tratados y de las operaciones y procesos usados en el tratamiento del agua residual. Mientras en las etapas de tratamiento preliminar son removidos fundamentalmente residuos sólidos, como basuras y arenas, en las unidades de tratamientos primario y secundario el principal residuo son los lodos (y/o biosólidos), subproductos del tratamiento que, dependiendo del tipo de sistema, deben ser tratados y posteriormente dispuestos o aprovechados.

El tratamiento del lodo tiene básicamente dos objetivos: reducir el volumen (reducción de humedad) y reducir el nivel de materia orgánica (estabilización). Desde el punto de vista de reducción del volumen, son estrategias adecuadas el espesamiento (concentración), la deshidratación o el tratamiento térmico. La estabilización se consigue con alternativas como la digestión aerobia o anaerobia, la estabilización alcalina o el compostaje (Metcalf y Eddy Inc., 2003).

La estabilización permite reducir patógenos, eliminar olores ofensivos e inhibir, reducir o eliminar el potencial de putrefacción. Los medios para minimizar estas condiciones son principalmente métodos biológicos de reducción del contenido volátil, tratamientos térmicos o la adición de químicos para crear condiciones desfavorables a la sobrevivencia de microorganismos. La digestión biológica es adecuada, en particular, para mitigar o estabilizar los efectos relacionados a la putrefacción y al potencial de olor, mientras que la estabilización alcalina es eficiente en la remoción o reducción de patógenos (Metcalf y Eddy Inc., 2003).

Los lodos digeridos o estabilizados contienen grandes cantidades de agua. El método de deshidratación en lechos de secado es muy usado en los países tropicales por ser un proceso sencillo y de bajo costo. En el momento en que el lodo es dispuesto en el lecho de secado, se inician dos procesos: la percolación o infiltración del agua, con lixiviación de nutrientes, y la evaporación; el primero ocurre en las primeras horas y es la operación más importante, y la segunda, la evaporación, es responsable del agrietamiento de la capa superior del lecho. Dependiendo de la región y de sus condiciones climáticas de temperatura y viento, el lodo se va secando y pasa de la forma líquida a la pastosa y de la pastosa a la sólida, granular o en polvo (Ilhenfeld *et al.*, 1999).

La estabilización alcalina puede hacerse con cal, uno de los alcalinizantes más baratos y más usados en saneamiento: se usa para elevar el pH de los digestores, remover fósforo en los tratamientos avanzados, acondicionar el lodo para la deshidratación mecánica y estabilizarlo químicamente (Mansur *et al.*, 1999). Se puede usar cal viva (CaO) o cal apagada [Ca(OH)<sub>2</sub>], siendo la cal viva más usada a granel y para grandes volúmenes; la cal viva libera calor en contacto con el agua pero, al ser mezclada con el lodo, la elevación de la temperatura no es suficiente para eliminar los patógenos (Barros *et al.*, 1996).

La cal puede ser aplicada antes (pretratamiento) o después (postratamiento) del secado del lodo. El postratamiento tiene varias ventajas cuando se compara con el pretratamiento: i) puede usarse cal seca, lo que evita la incorporación de agua al proceso de deshidratación del lodo; ii) no hay requerimientos especiales de deshidratación y iii) se eliminan problemas asociados al mantenimiento de equipos de deshidratación del lodo químico. En todos los casos, es indispensable una buena mezcla que garantice el contacto entre la cal y las pequeñas partículas de lodo (Metcalf y Eddy Inc., 2003).

La recomendación general es la aplicación después del secado, ya que se requieren menos reactivos y los resultados son mejores (Noyola *et al.*, 2000). Independiente del punto de aplicación, la cal debe dosificarse de tal manera que se garantice el incremento del pH a niveles iguales o superiores a 12 unidades durante el tiempo de contacto suficiente para alcanzar un alto nivel de reducción de patógenos (al menos 2 h) y para suministrar suficiente alcalinidad residual que lo mantenga varios días por encima de 11 unidades. Normalmente, la dosis debe ser 1,5 veces la necesaria para mantener el pH inicial en 12 unidades (Water Environmental Federation [WEF], 1998).

La disposición final del lodo dependerá del tratamiento que haya recibido y de la posibilidad de aplicarlo en usos definidos. Algunos de los usos potenciales —previa higienización— son la aplicación agrícola como fertilizante, acondicionador o mejorador de las características naturales del suelo, recuperador de la capa superficial de suelo y compostaje (Barros *et al.*, 1996).

La aplicación para propósitos agrícolas de lodos digeridos e higienizados es benéfica porque mejora los niveles de materia orgánica, macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, cromo, selenio y zinc), la estructura del suelo, la infiltración del agua, la aireación del suelo y el crecimiento de

las plantas. La materia orgánica también contribuye a la capacidad de intercambio de cationes del suelo, lo que permite mayor retención de potasio, calcio y magnesio, y los nutrientes presentes también sirven como un reemplazo total o parcial de los fertilizantes químicos (Andreoli *et al.*, 1999). En cualquier caso, si no hay un uso apropiado o aprovechamiento del material, o los costos de transporte al sitio potencial de aprovechamiento son inviables, o no hay demanda por el producto, el material puede ser dispuesto en rellenos sanitarios.

En el presente trabajo se evaluó la técnica de secado térmico natural (lechos de secado), sin y con adición de cal antes de la deshidratación de lodos digeridos de una laguna anaerobia de tratamiento de agua residual doméstica, con el objetivo de determinar la proporción más adecuada, desde el punto de vista de remoción de patógenos y huevos de helmintos, sin alterar las características de deshidratación, aspecto importante para la disposición y/o aprovechamiento del material tratado.

## **Materiales y métodos**

### ***Lodo digerido***

El lodo utilizado para evaluar la influencia de la incorporación de la cal sobre la eficiencia de la deshidratación y la remoción de patógenos y parásitos provenía de una laguna anaerobia que trata aguas residuales domésticas municipales con un caudal de  $10 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ , opera con un tiempo de retención hidráulico de 2 d y presenta una eficiencia de remoción de la DQO –demanda química de oxígeno, que corresponde a la medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos– del orden de 68%-70%.

El volumen de lodo necesario para la caracterización inicial y los ensayos de deshidratación se obtuvo tomando muestras de lodo a 0,30 cm de su superficie, en veinticuatro puntos de la laguna distribuidos proporcionalmente, de acuerdo con sus dimensiones (52,2 m x 26,1 m); las muestras fueron integradas para tener una muestra representativa del material sólido almacenado en la laguna. Esta muestra integrada fue caracterizada en términos de las variables físicas, químicas, bacteriológicas y parasitológicas.

Los métodos analíticos usados fueron los de APHA *et al.* (1998), con excepción del análisis parasitológico de

identificación de helmintos, específicamente huevos de *Ascaris lumbricoides*, en el que se utilizó el método de Bailenger (1979).

### ***Lechos de secado***

Se construyeron formaletas de 0,5 x 0,5 x 0,5 m. El material de construcción fue madera, por ser económico y de fácil consecución. Las formaletas se instalaron sobre los lechos de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Ginebra (Valle del Cauca), para garantizar que las características del fondo correspondieran a un lecho de secado típico para la deshidratación de esta clase de lodos. El lodo se aplicó hasta una profundidad útil de 0,30 m.

Se construyeron un total de 20 formaletas con una separación de 0,35 m y distribuidas en cuatro grupos de cinco unidades (réplicas). Cada grupo de formaletas se caracterizó por una proporción variable de cal mezclada con el lodo; en el primer grupo ( $E_0$ ) se adicionó solamente lodo, mientras que en los tres grupos restantes se adicionó una cantidad variable de cal, con respecto al peso del lodo:  $E_1$  con 20%;  $E_2$  con 40% y  $E_3$  con 65%. El alcalinizante usado en las tres proporciones mencionadas fue cal viva en polvo mezclada con el lodo antes de depositarlo en el respectivo lecho. Para el ensayo sin cal ( $E_0$ ), el lodo extraído de la laguna se depositó directamente en las formaletas correspondientes.

La humedad, la temperatura y el pH fueron las variables medidas diariamente en los lechos, con el fin de acompañar el proceso de deshidratación (reducción de la humedad) y remoción de patógenos y parásitos que, según Metcalf y Eddy Inc. (2003), se puede verificar indirectamente a través de la elevación del pH a valores de 12 unidades por al menos 2 h y por encima de 11 unidades por varios días.

## **Resultados y discusión**

### ***Lodo digerido***

La muestra de lodo usado en los ensayos de deshidratación presentó las características anotadas en la tabla 1.

Aunque la muestra de lodo fue compuesta con muestras puntuales tomadas a lo largo de la laguna –que probablemente presentaban características diferentes a causa de problemas hidrodinámicos en sus zonas de entrada y salida, traducidos en puntos de mayor almacenamiento

**Tabla 1.** Caracterización del lodo anaerobio.

Variable	Valor
Temperatura	25 °C
Humedad	95%
pH	7,0
Sólidos totales (ST)	3,1%
Sólidos volátiles (SV)	1,1%
SV/ST	0,35
Fósforo orgánico	0,43 mg · L <sup>-1</sup>
Fosfatos	1,20 mg · L <sup>-1</sup>
Fósforo total	1,63 mg · L <sup>-1</sup>
Nitrógeno orgánico	2744,6 mg · L <sup>-1</sup>
Nitrógeno amoniacal	99,5 mg · L <sup>-1</sup>
Coliformes totales	1,61E19 ufc/100 mL
Huevos de helmintos	350.000 huevos/L

en ellas (Botina, 2001)–, las características del lodo usado en el ensayo son típicas de un material digerido anaeróbicamente, que presenta niveles de humedad por encima de 90%, concentración de sólidos totales entre 2% y 5% (valor típico del orden de 3%) y una relación sv/st (sólidos volátiles /sólidos totales) alrededor de 0,40 (Metcalf y Eddy Inc., 2003). Esta baja relación sv/st indica con claridad la fracción reducida de material activo presente en el lodo (Ferreira *et al.*, 1999), lo que lleva a recomendar su retiro para someterlo a una deshidratación, por su elevado porcentaje de humedad, y a una higienización previas a la disposición final.

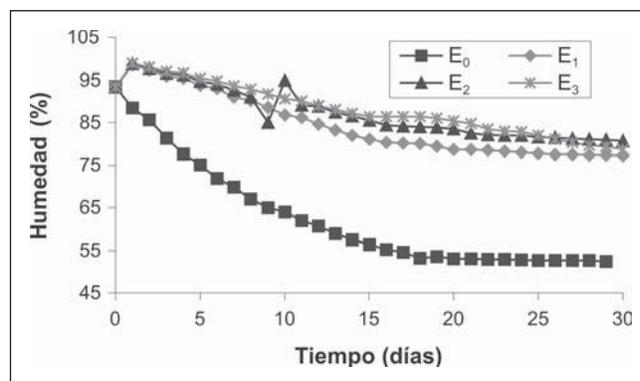
Mendonça (2000) señala que la limpieza o retiro del lodo de lagunas anaerobias debe realizarse cuando el volumen corresponda a la mitad del volumen de la laguna. De acuerdo con Mara (1976), quien indica una tasa de acumulación anual entre 0,03 y 0,04 m<sup>3</sup>/habitante, y el Instituto Mexicano de Tratamiento de Agua [IMTA] (1994), citado por Mendonça (2000), para el caso de la laguna estudiada, y considerando un área superficial de 1.362 m<sup>2</sup> (Botina, 2001), el lodo debe retirarse aproximadamente cada 2-3 años.

### Comportamiento de la humedad

Los lechos de secado permitieron deshidratar el lodo hasta un nivel de sólidos entre 40% y 75%, de acuerdo con el clima y el tiempo de secado. Un lodo seco de buena calidad, obtenido por secado natural en un lecho bien diseñado y construido, debe tener una humedad inferior a 50% (Companhia de Tecnologia de Saneamento Am-

biental [CETESB], 1991). Para condiciones de clima tropical, se considera que un período de secado de 10 a 15 d en condiciones favorables es suficiente para alcanzar una humedad del orden de 60% (Noyola *et al.*, 2000).

La figura 1 muestra el comportamiento de la humedad a lo largo de los 30 d de secado, tanto del lodo solo (E<sub>0</sub>) como mezclado con la cal viva en las diferentes proporciones evaluadas (E<sub>1</sub> a E<sub>3</sub>).



**Figura 1.** Comportamiento de la humedad en el tiempo. E<sub>0</sub>, lodo sin cal; E<sub>1</sub>, lodo con 20% de cal; E<sub>2</sub>, lodo con 40% de cal y E<sub>3</sub>, lodo con 65% de cal.

La curva correspondiente al ensayo de secado sin cal (E<sub>0</sub>) muestra que en un período de 30 d se alcanzó una reducción de humedad de hasta 52%; sin embargo, aproximadamente 57% de esta reducción se alcanzó en los primeros 7 d de secado a una temperatura ambiente, que varió entre 25 y 27 °C. A los 12 d de secado, la humedad fue 60%, y después del día 16, se mantuvo prácticamente en un rango de 52% a 55%. Desde el punto de vista de la remoción de humedad, este comportamiento indica que un período de 12-16 d es suficiente para deshidratar este material y garantizar el rango de humedad recomendado por Ilhenfeld *et al.* (1999), entre 50% a 55%, para que el lodo seco presente una apariencia granular que facilita su aplicación con equipos sencillos.

Los tres tratamientos en los que se incorporó cal al comienzo de la deshidratación muestran que la humedad se redujo de manera muy similar, independiente de la dosis de cal aplicada, y hasta valores del orden de 77%-80%, inadecuados para su aplicación agrícola e incluso para su disposición final, lo que indica un efecto desfavorable de la adición de la cal al inicio del proceso de deshidratación. Según Táboas *et al.* (2005),

la consistencia ideal del lodo para la aplicación de la cal, previendo el uso agrícola, es la pastosa, cuando la superficie del lecho no está sólida (humedad mayor a 65%-70%), pues en estas condiciones se garantiza una buena reacción de la cal con el agua contenida en el lodo, promoviendo una buena reacción exotérmica y una buena plasticidad, fundamentales para garantizar la homogenización de la cal con el lodo y, por lo tanto, la del pH. Para el lodo digerido evaluado, este nivel de humedad se alcanzó entre los días 7 y 9, lo que indica que el tiempo ideal de incorporación de la cal al proceso estaría alrededor del día 10.

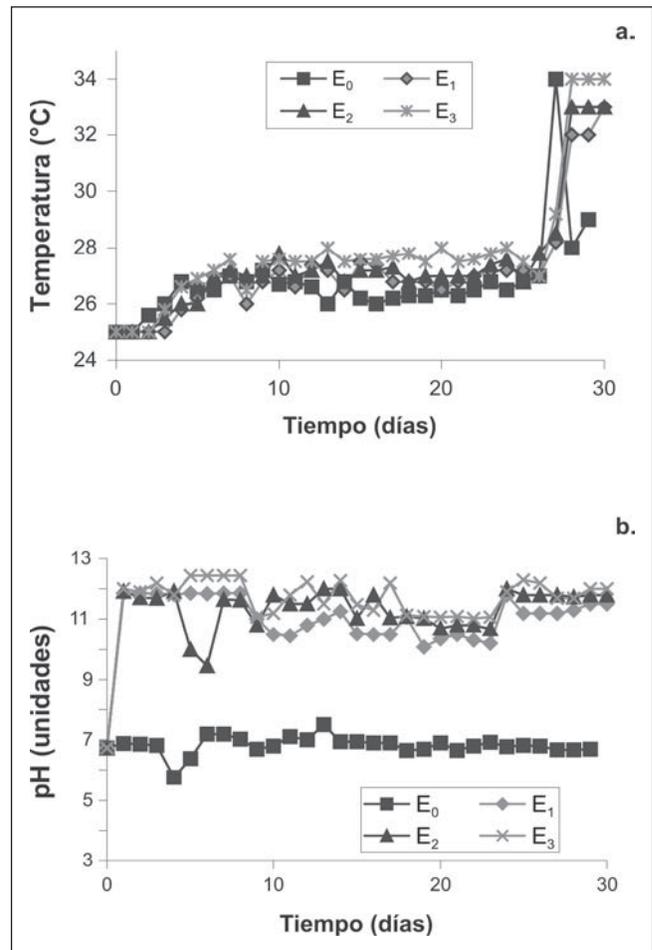
### Temperatura y pH

Entre los diversos factores capaces de promover la desinfección del lodo, se destacan tres como los más indicados: la temperatura, el pH y la radiación. La intensidad y el tiempo de aplicación de estos factores a la masa de lodo determinan la eficiencia de su desinfección. La figura 2 muestra el efecto de la temperatura y el pH en los cuatro tratamientos evaluados.

La figura 2a indica que la temperatura no mostró grandes variaciones en los diferentes tratamientos evaluados, con excepción de los últimos días, cuando se observó un aumento mayor en aquellos tratamientos en los que se aplicó cal, comparados con el lecho sin cal (diferencia aproximada de 5 °C); sin embargo, esta variable no mostró ser tan sensible como la humedad y el pH para evaluar los fenómenos de deshidratación y remoción de patógenos y parásitos, respectivamente.

En la figura 2b se observa que el pH del lodo en que no se aplicó cal ( $E_0$ ) se mantuvo durante todo el período de secado con valores alrededor de 7, lo que no garantiza su higienización, desde el punto de vista de remoción de patógenos y parásitos. En los tratamientos en que se adicionó la cal ( $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$ ), se observó un rápido aumento del pH a niveles próximos a 12 unidades, desde el momento de la aplicación hasta los 8-10 d siguientes, y, en el período de secado restante, la estabilización del pH por encima de 11 unidades.

Táboas *et al.* (2005) indican que con el tratamiento alcalino de los lodos con cal el pH se incrementa hasta alcanzar valores superiores a 12 unidades durante un período no inferior a 72 h, lapso en el que, al menos durante 12 h, la temperatura del lodo deberá ser superior a 52 °C. Ilhenfeld *et al.* (1999) indican



**Figura 2.** Comportamiento de: a) la temperatura y b) el pH en el tiempo.  $E_0$ , lodo sin cal;  $E_1$ , lodo con 20% de cal;  $E_2$ , lodo con 40% de cal y  $E_3$ , lodo con 65% de cal.

que la remoción de patógenos y parásitos se alcanza con temperaturas entre 45 y 70 °C, valores que deben mantenerse por períodos de tiempo variables, en general superiores a 50 min. Si se considera que la temperatura en los lechos fue medida solamente una vez en el día y el comportamiento diario del pH y los resultados de patógenos y parásitos al final de los 30 d de secado, puede concluirse que, tanto los niveles de temperatura, como los tiempos necesarios para higienizar el lodo, se alcanzaron en todos los tratamientos con cal.

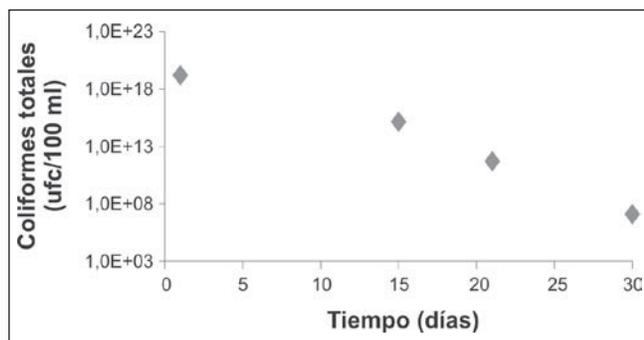
### Patógenos y parásitos

Los agentes patógenos son el principal factor limitante del uso agrícola de los lodos; sin embargo, es el factor más fácil de controlar a través de la adopción de soluciones técnicas de higienización, como el uso

de la cal o del compostaje (De Lara *et al.*, 1999). Fernández *et al.* (1999) proponen unos límites máximos de patógenos y parásitos para lodos digeridos e higienizados (por medio del uso de cal o del compostaje), de acuerdo con las experiencias locales en Brasil y el análisis de experiencias internacionales adaptadas a sus condiciones: un número más probable (NSP) de coliformes fecales por gramo de materia seca de  $10^3$  y una concentración de huevos de helmintos por gramo de materia seca de 0,25.

Los resultados del estudio muestran que el lodo al que no se adicionó cal ( $E_0$ ), incluso después de 30 d de secado, presentó niveles del orden de  $10^7$  de patógenos. Con relación a los huevos de helmintos, a los 15 d de secado aún se observó presencia de ellos, los cuales fueron removidos completamente a los 30 d de secado. Estos resultados reafirman que la aplicación de la deshidratación por secado térmico en lechos de secado no es suficiente para garantizar la higienización de los lodos y hacerlos aptos para el uso agrícola. La figura 3 muestra el comportamiento de los coliformes a lo largo del tiempo de secado en el lecho sin cal ( $E_0$ ).

Los lechos en los que se usó cal en las diferentes proporciones evaluadas ( $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$ ) garantizaron una remoción completa, tanto de coliformes, como de huevos de helmintos. Estos valores permiten afirmar que, si se garantiza un nivel de pH de 11-12 unidades, se garantiza efectivamente la higienización de los lodos. Dado que la menor dosis de cal usada en el estudio garantiza el efecto deseado, desde el punto de vista de costos y de eficiencia de remoción de patógenos y parásitos se considera que la dosis de 20% en peso de cal viva es adecuada y suficiente para garantizar la higienización y el uso agrícola potencial de este lodo.



**Figura 3.** Comportamiento de los coliformes totales en el tiempo. Lecho  $E_0$  (sin cal).

## Conclusiones y recomendaciones

- La alternativa de deshidratar en lechos de secado el lodo proveniente de la laguna anaerobia, que presenta características de lodo digerido, garantiza buenos resultados desde el punto de vista de reducción de humedad. Un tiempo de 12-16 d es suficiente para deshidratar este material y garantizar el rango de humedad recomendado (entre 50%-55%) para que el lodo seco presente una apariencia granular que facilite su aplicación con equipos sencillos.
- La incorporación de la cal al lodo digerido húmedo retirado de la laguna desfavorece la deshidratación. Los resultados permiten recomendar una deshidratación previa del lodo sólo durante un período de 7-9 d, para luego sí adicionar la cal.
- Las tres proporciones de cal evaluadas garantizan una elevación del pH hasta 12 unidades durante períodos suficientes para la remoción de patógenos y parásitos. Por tal razón, una dosis de 20% en peso es suficiente para garantizar este efecto.
- El material deshidratado y previamente higienizado con cal presenta características que lo hacen apropiado para su uso agrícola, recomendándose su evaluación en pruebas a nivel de invernadero.

## Literatura citada

- Andreoli, C., R. Ilhenfeld y E. Pegorini. 1999. Factores limitantes. pp. 46-63. En: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Brasil. 97 p.
- American Public Health Association (APHA), American Waters Works Association (AWWA), Water Protection Fund Commission (WPFC). 1998. Standard methods for the examination of waters and wastewaters. 25th edition. United States of America.
- Bailenger, J. 1979. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. J. Amer. Med. Tech. 41, 65-71.
- Barros, R., C. Chernicharo, L. Heller y M. von Sperling. 1996. Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Vol. 2. Saneamento. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Ed. Segrac, Brasil. 221 p.
- Botina, A. 2001. Alternativas de tratamiento y disposición final de lodos generados en lagunas anaerobias. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali (Colombia).
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). 1991. Avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos. Série Manuais. Setembro. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Sao Paulo.
- De Lara, A., A. Ferreira y C. Andreoli. 1999. Riscos associados au uso do lodo de esgoto. pp. 29-33. En: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Brasil. 97 p.

- Fernández, F. A. de Lara, C. Andreoli y E. Pegorini. 1999. Normatização para a reciclagem do lodo de esgoto. pp. 263-291. En: Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Reciclagem de biossólidos. Transformando problemas em soluções. Brasil. 300 p.
- Ferreira, A, C. Andreoli y D. Jurgensen. 1999. Produção e características dos biossólidos. pp. 16-25. En: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Brasil. 97 p.
- Ilhenfeld, R., C. Andreoli y A. de Lara. 1999. Higienização do lodo de esgoto. pp. 34-45. En: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Brasil. 97 p.
- Mansur, M., F. Fernández y S. da Silva. 1999. Aspectos tecnológicos e de processos. pp. 48-119. En: Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Reciclagem de biossólidos. Transformando problemas em soluções. Brasil. 300 p.
- Mara, D. 1976. Sewage treatment in hot climates. John Wiley and Sons, London.
- Mendonça, S.R. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. McGraw-Hill, Colombia. 370 p.
- Metcalf and Eddy, Inc. 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse. Fourth edition. McGraw-Hill, USA. 1771 p.
- Noyola, A., E. Vega, J. Ramos y C. Calderón. 2000. Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Tercera edición. Manuales IMTA, México. 338 p.
- Táboas, R., M. Fernández-Couto y M. Cancela. 2005. Lodos de depuración: legislación, características, lugares y criterios de aplicación en suelos agrícolas. Tecnología del agua (256), 54-60.
- Water Environmental Federation (WEF). 1998. Design of wastewater treatment plants. Fourth edition. Manual of practice 3(8). Water Environmental Federation, USA.