



## EFFECTO DEL AMONIACO EN LA ESTABILIZACIÓN ALCALINA DE LODOS RESIDUALES

### Juan Manuel Méndez Contreras (\*)

Instituto de Ingeniería, UNAM. Ingeniero Químico del Instituto Tecnológico de Orizaba. Desarrolló la maestría en Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de Orizaba. Se desempeñó como Ingeniero de Procesos en el Instituto Mexicano del Petróleo y actualmente cursa el doctorado en Ingeniería Ambiental en el Programa de Posgrado en Ingeniería de la UNAM.



Dirección (\*): Instituto de Ingeniería, UNAM, Edificio 5, Cubículo. 216, Circuito Escolar s/n, Ciudad Universitaria, C. P. 04510, Delegación Coyoacán, México, D. F., Tel. 01(55) 5622 3345 Ext. 22, Fax 01(55) 5622 3433. e-mail: [jmendezc@iingen.unam.mx](mailto:jmendezc@iingen.unam.mx)

### Blanca Elena Jiménez Cisneros

Instituto de Ingeniería, UNAM.

### Germán Salgado Velázquez

Instituto de Ingeniería, UNAM.

## RESUMEN

En México, los lodos fisicoquímicos contienen altos niveles de patógenos; la estabilización es alcalina una alternativa para su control, sin embargo, los olores ocasionados principalmente por la generación de amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) representan una desventaja, que puede limitar su uso; no obstante, el  $\text{NH}_3$  es conocido como un desinfectante efectivo. El objetivo de este estudio fue demostrar que el amoniaco producido en la estabilización alcalina puede incrementar la eficiencia del proceso. Se utilizaron lodos generados a partir de agua residual municipal de la ciudad de México tratada mediante un proceso fisicoquímico. Las pruebas de estabilización con amoniaco se realizaron aplicando a 2 litros de lodo crudo dosis desde 10 hasta 50% de  $\text{NH}_3$  durante dos horas. La evaluación del tiempo de contacto se realizó aplicando a los lodos una dosis de 20% m/m de  $\text{NH}_3$ , las muestras fueron obtenidas a las 0.5, 1, 1.5 y 2h para su análisis microbiológico inmediato. Para evaluar el efecto de la temperatura en presencia de amoniaco se aplicaron a los lodos dosis de 10 y 20% m/m de  $\text{NH}_3$ , los tratamientos se realizaron a 20, 30, 40 y 50 °C durante dos horas. En la última etapa, se aplicaron dosis desde 5 hasta 40% de CaO en sistemas abiertos y cerrados y se evaluó la calidad de los lodos crudos y tratados después de dos horas. Los resultados demostraron que el  $\text{NH}_3$  aplicado removió 6 y 5 unidades log de coliformes fecales y *Salmonella* spp., respectivamente y hasta el 94% de huevos de helmintos viables con la máxima dosis aplicada. Por su parte, las máximas eficiencias obtenidas con 20% de amoniaco se lograron con tiempos de contacto desde 1h para el caso de los coliformes fecales, hasta 2h para los huevos de helmintos, tiempos de contacto superiores a 24h no produjeron cambios significativos. Las pruebas con diferentes temperaturas demostraron que el poder desinfectante del amoniaco se incrementó significativamente cuando mayor fue la temperatura utilizada. La última etapa demostró que los requerimientos de CaO para lograr diferentes niveles de estabilización se reducen hasta en un 5% utilizando un sistema cerrado para mezclar la cal con los lodos. Finalmente, los resultados indican que el  $\text{NH}_3$  representa una alternativa de desinfección de lodos residuales, además que este gas puede utilizarse para hacer más eficiente la estabilización alcalina de lodos con CaO utilizando sistemas cerrados y que la recuperación del  $\text{NH}_3$  y su recirculación al sistema, incrementará la eficiencia de los procesos alcalinos.

**Palabras clave:** Amoniaco, Coliformes Fecales, Estabilización Alcalina, Huevos de Helmintos, *Salmonella* spp.

## INTRODUCCION

En México, una importante cantidad de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales no son tratados ni adecuadamente manejados, sino comúnmente son descargados a los sistemas de drenaje o depositados en rellenos sanitarios. Dichas prácticas pueden ser perjudiciales tanto para la salud del ser humano como para el ambiente debido a que se realizan sin una evaluación previa de la calidad de los lodos, los cuales, contienen una importante cantidad de

contaminantes separados de las aguas de origen. Afortunadamente, con la publicación del proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-2001 (Diario Oficial de la Federación, 18 de febrero de 2002) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para el aprovechamiento y disposición de lodos y biosólidos, las plantas de tratamiento de aguas estarán obligadas a cumplir diversos criterios, haciendo necesario implantar y desarrollar tecnologías que produzcan biosólidos que puedan ser depositados o reutilizados apropiadamente.

En la Ciudad de México, los lodos crudos tienen un alto contenido de microorganismos patógenos, con concentraciones de hasta 150 huevos de helmintos (HH)/g ST (Jiménez *et al.*, 1997 y Jiménez *et al.*, 2000), que rebasan, por mucho, los límites máximos permisibles de normas internacionales así como los contemplados en el proyecto de la SEMARNAT. El contenido microbiológico es mucho mayor que el de países desarrollados como Estados Unidos, Italia y Francia los cuales reportan concentraciones de 1 a 13 HH/g ST (Lue – Hing *et al.*, 1992; Ghiglietti *et al.*, 1995 y Gaspard *et al.*, 1997).

El tratamiento de lodos con elevado contenido de patógenos es escasamente abordado por la literatura internacional, sin embargo es sabido que la producción de biosólidos se puede llevar a cabo a través de diversas tecnologías en su mayoría probadas y reconocidas en países desarrollados (US EPA, 1994). Sin embargo, algunas de éstas necesitan demostrar su capacidad para reducir o eliminar aquellos microorganismos (en cantidad y tipo) presentes en lodos de países en vías de desarrollo como México.

La estabilización alcalina es una alternativa para el control de patógenos, incluso es reconocida por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (US EPA) como un proceso capaz de reducir significativamente el contenido de microorganismos y producir biosólidos, (US EPA, 1994). En México, la estabilización con cal es utilizada en algunas plantas de tratamiento. La elevación del pH por la adición de cal reduce el contenido de patógenos (Arkivos, *et al.*, 1999, Christy, 2000 y Mignotte-Cadiergues, *et al.*, 2001) a niveles muy bajos. También, provoca que el nitrógeno amoniacal ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) se convierta a gas  $\text{NH}_3$ , fuente malos olores, (Girovich, 1996) según la reacción siguiente:



Por lo general, las plantas de tratamiento utilizan sistemas abiertos para mezclar la cal con los lodos, lo que permite la volatilización del amoníaco a la atmósfera y genera graves problemas de olores que causan molestias a la población y riesgos de salud a los trabajadores expuestos.

Por otra parte, se ha demostrado que el  $\text{NH}_3$  reduce la viabilidad de los huevos de helmintos de *Taenia saginata*, *Ascaris suum* y *Ascaris lumbricoides* en lodos (Bruce, 1984; Reimers, *et al.*, 1986<sup>a</sup>; Ghiglietti, *et al.*, 1995 y Ghiglietti, *et al.*, 1997). También, Allievi, *et al.*, (1994), determinaron un efecto bactericida del hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) el cual a pH de 13 se transforma en un 99.98% a su forma no ionizada (ecuación 1). En consecuencia, el uso de sistemas cerrados para estabilizar lodos con cal resolverá los problemas de olores e incrementará la eficiencia del proceso de estabilización que se logre en sistemas abiertos por la retención del  $\text{NH}_3$  producido. En este proceso interviene también el calor producido por la reacción de hidratación del óxido de calcio (ecuación 2), el cual, incrementa la temperatura y favorece la desinfección (Girovich, 1996). Ello ocurre porque cuando la temperatura se incrementa, algunos microorganismos como las bacterias, no se adaptan rápidamente al cambio y mueren.



Otro factor determinante para la eficiencia del proceso es el tiempo de contacto, el cual afecta la remoción de los microorganismos. De hecho, es un parámetro de control de la estabilización alcalina. Generalmente, se utilizan 2 horas, sin embargo, se llega a usar hasta 24 h en función de la dosis y del pH alcanzado en los lodos (US EPA, 1994). El objetivo de este trabajo fue demostrar que el amoníaco producido en el proceso de estabilización alcalina incrementa la eficiencia del proceso.

## METODOLOGÍA

**Lodos de estudio.**-Los lodos utilizados durante las pruebas de estabilización se obtuvieron de la planta de tratamiento fisicoquímico de aguas residuales “San Pedro Atocpan”, la cual está localizada en la delegación Milpa Alta de la Ciudad

de México, D.F. y tiene un capacidad de operación de 35 L/s. Los lodos fisicoquímicos fueron obtenidos de los sedimentadores de la planta cuya purga se realiza cada 12 h, aproximadamente. La muestra de lodos se tomo 1 hora antes de la purga, dejando fluir el lodo a los espesadores aproximadamente 7 minutos. La concentración promedio fue de 5.6% de ST ( $\pm 0.3\%$ ).

**1ª. Etapa: “Efecto de la dosis de NH<sub>3</sub> en la estabilización alcalina de lodos”.**-La primera etapa de experimentación tuvo por objeto evaluar el poder desinfectante del NH<sub>3</sub>. Para ello se utilizó un reactor de cierre hermético con capacidad de 2 L y temperatura controlada de 20 °C en todos los tratamientos. Para la experimentación se utilizó un diseño unifactorial de bloques completos con la eficiencia de remoción de coliformes fecales, *Salmonella* spp. y huevos de helminto como variable de respuesta en todas las etapas de experimentación. Se aplicaron dosis de 10, 20, 30, 40 y 50% m/m de NH<sub>3</sub> a los lodos utilizando una solución grado reactivo de NH<sub>4</sub>OH al 28 – 30% vol/vol con pH de 13. Las muestras y un control se homogenizaron a 200 rpm durante 1 minuto. Transcurrido este tiempo, se aplicó el NH<sub>3</sub> y se incrementó la velocidad de agitación a 300 rpm durante 2 horas. Al final de cada tratamiento se realizó la evaluación microbiológica en la cual se cuantificó el contenido de coliformes fecales y *Salmonella* spp. (Standard Methods, 1995). Además, se cuantificaron los huevos de helmintos viables mediante el método descrito por la US EPA (1992). Los resultados se obtuvieron de cuatro réplicas para cada tratamiento.

**2ª. Etapa: “Efecto del tiempo de contacto en la estabilización alcalina de lodos”.**- La experimentación se realizó con el objeto de evaluar el efecto del tiempo de contacto en la desinfección de lodos con amoníaco. Al igual que en la primera etapa se utilizó un experimento unifactorial de bloques completos. Un control y las muestras fueron agitadas a 200 rpm durante 1 minuto, posteriormente, se aplicó a 2 litros de lodo una dosis de 20% m/m de NH<sub>3</sub> (por ser la dosis recomendable) y se incrementó la velocidad de agitación a 300 rpm; las muestras fueron obtenidas a las 0.5, 1, 1.5 y 2 h para su análisis microbiológico inmediato.

**3ª. Etapa: “Efecto de la temperatura en presencia de amoníaco en la estabilización alcalina de lodos”.**- Para la evaluar el efecto de la temperatura en presencia de amoníaco, se empleó un diseño factorial de dos factores (dosis de amoníaco y temperatura). Con un procedimiento similar a las etapas anteriores, el control y las muestras fueron sometidos a los mismos criterios de agitación. Se adicionaron dosis de 10 y 20% m/m de NH<sub>3</sub> y los tratamientos se realizaron a 20, 30, 40 y 50 °C durante dos horas. Transcurrido este tiempo, se realizó la evaluación microbiológica de las muestras.

**4ª. Etapa: “Comparación de la estabilización alcalina de lodos en sistemas abiertos y cerrados”.**- La cuarta etapa de experimentación se realizó con el objeto de comparar las eficiencias de remoción de microorganismos indicadores y patógenos en sistemas abiertos y cerrados para estabilizar lodos con cal. En esta etapa se utilizó un diseño factorial de dos factores (dosis de CaO y tipo de sistema). La simulación del proceso en sistemas abiertos se realizó en un equipo de agitación mecánica convencional (prueba de jarras) mientras que las pruebas en sistemas cerrados se llevaron a cabo en el mismo reactor utilizado en la primera etapa. Los tratamientos se realizaron con 5, 10, 15, 20, 30 y 40% m/m de CaO (cal viva con 81.5% de CaO) y un volumen de dos litros de lodo. Nuevamente, se realizó la agitación a 200 rpm durante 1 minuto, adición de CaO e incremento de la velocidad hasta 300 rpm por 2 horas. Al final se evaluó la calidad fisicoquímica (pH, temperatura, sólidos totales, volátiles, fijos y N-NH<sub>3</sub>) y microbiológica (coliformes fecales, *Salmonella* spp. y huevos de helmintos) de los lodos.

## RESULTADOS

La Figura 1 muestra que la concentración inicial de coliformes fecales fue de 7.6 unidades log; al aplicar dosis de 10 a 50% de NH<sub>3</sub> se obtuvo una reducción de 4.5 a 7 log, produciendo biosólidos que cumplen con el límite US EPA con respecto a este parámetro. La desviación estándar (0.8 log) indica que para producir este tipo de biosólidos, más de 10% de amoníaco deben ser adicionados para asegurar concentraciones inferiores a este límite. Concentraciones  $\geq 20\%$  m/m de NH<sub>3</sub> redujeron el contenido de coliformes fecales hasta un promedio de menos de 1 Log.

La Figura 2 muestra que los microorganismos patógenos siguieron una tendencia similar a los coliformes fecales. La concentración inicial de *Salmonella* spp. fue del orden de 10<sup>6</sup> NMP/g ST (6 log) y se redujo a 2.2 log al aplicar 10% de NH<sub>3</sub>. Con dosis de 20% y mayores se detectaron concentraciones en los lodos tratados por debajo del límite de detección (< 3 NMP/g ST), lo cual permitió cumplir con el límite US EPA para biosólidos clase A.

Fue claro también el efecto del  $\text{NH}_3$  en la reducción de HH viables, incluso la menor dosis aplicada (10%) redujo su concentración desde un promedio de 106 hasta 33 HH viables/g ST (69% de eficiencia). Cuando se aplicó 20% de  $\text{NH}_3$  se obtuvieron en promedio 16 HH viables/g ST, la eficiencia de cada tratamiento aumentó conforme la dosis de amoníaco aplicada fue mayor. Se logró una eficiencia máxima de 94% con 50% de  $\text{NH}_3$ . Pese a la elevada eficiencia conseguida no fue posible cumplir con el límite US EPA. Los resultados descritos mostraron el poder desinfectante del amoníaco, ya que este gas, redujo significativamente la concentración de microorganismos presentes en lodos.

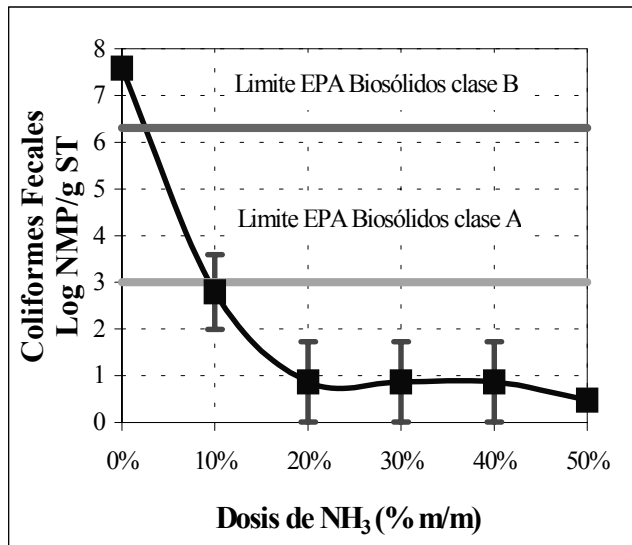


Figura 1: Efecto del  $\text{NH}_3$  en la concentración de coliformes fecales en lodos fisicoquímicos.

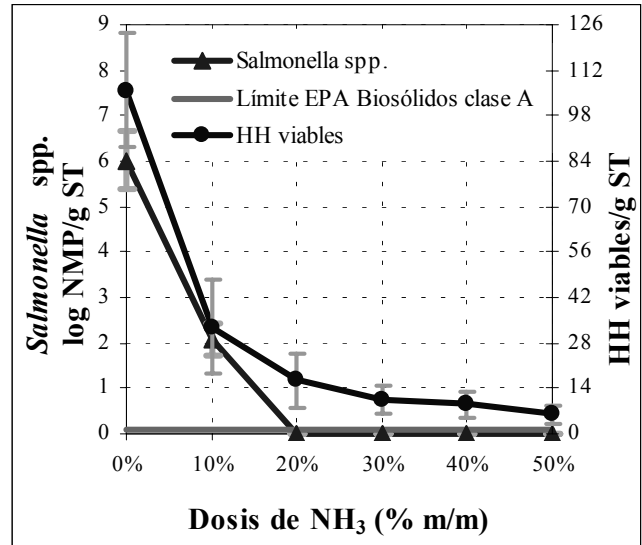


Figura 2: Efecto del  $\text{NH}_3$  en la concentración de microorganismos patógenos en lodos fisicoquímicos.

Demostrado el poder desinfectante del amoníaco, se realizó la evaluación del efecto del tiempo de contacto. La aplicación de 20% de  $\text{NH}_3$  redujo la concentración de Coliformes fecales de 8 a 2.2 log después de 30 minutos (Figura 3). Concentraciones de Coliformes fecales menores de 3 NMP/g ST fueron determinadas con tiempo de 60 minutos o mayores.

De igual manera, la concentración de *Salmonella* spp. redujo de manera significativa su valor desde 5.8 hasta 1.9 log después de 30 minutos con 20% de amoníaco. Su concentración fue reducida hasta niveles por debajo del límite de detección con tiempos de 60, 90 y 120 minutos (Figura 3). Además, el número de huevos de helmintos viables se redujo de 76 a 19 HH viables/g ST (75% de eficiencia) al cabo de los primeros 30 minutos, la eficiencia de remoción de HH se incrementó cuando el tiempo de contacto fue mayor, sin embargo, nuevamente no fue posible alcanzar el límite establecido por la US EPA para biosólidos clase A (Figura 4).

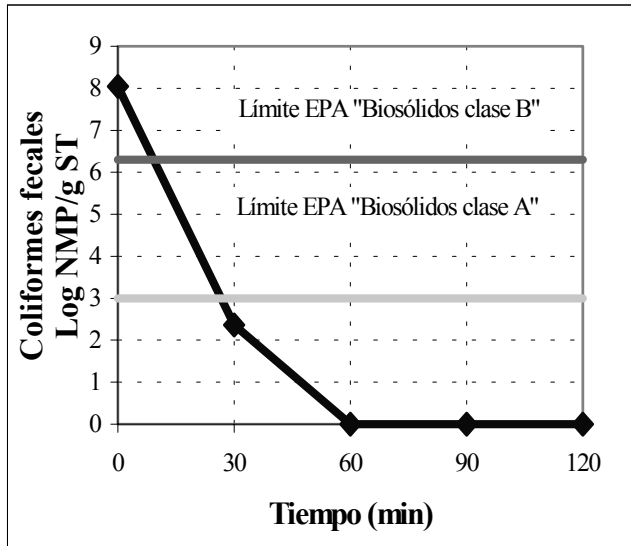


Figura 3: Efecto de tiempo de contacto en la inactivación de coliformes fecales.

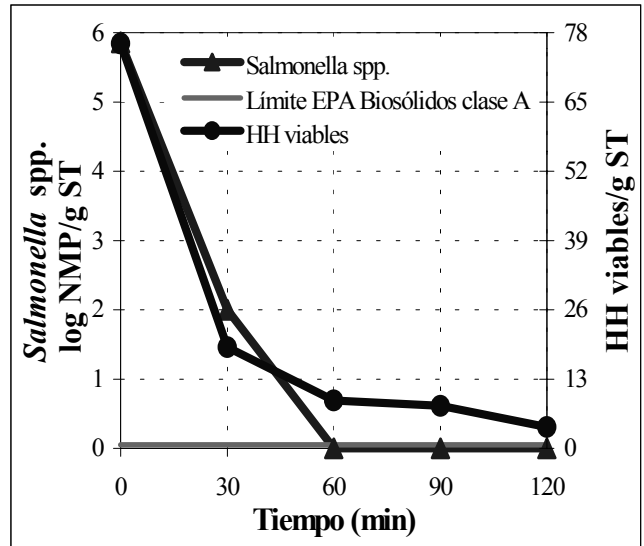


Figura 4: Efecto del tiempo de contacto en la inactivación de microorganismos patógenos.

Por otra parte, la Figura 5 muestra que los coliformes fecales fueron reducidos desde 7.9 log hasta 1.3 log con 20% de  $\text{NH}_3$  con 20 °C. Temperaturas de 30 °C o mayores, eliminaron la totalidad de estos microorganismos; el uso de una dosis menor (10%) redujo la concentración inicial hasta 3.6 log a 20 °C, una remoción similar se obtuvo a 30 °C, sin embargo, con 40 °C se obtuvo un valor (2 log) que cumplió el límite US EPA para biosólidos clase A, mientras que con 50 °C la totalidad de los coliformes fecales fueron eliminados. Los resultados sugieren que el  $\text{NH}_3$  incrementa su poder desinfectante cuando mayor es la temperatura. La concentración de *Salmonella* spp. en los lodos crudos fue de 5.2 log (Figura 6), valores inferiores al límite de detección (< 3 NMP/g ST) se contabilizaron después de aplicar 20% de  $\text{NH}_3$ , independientemente de la temperatura del tratamiento. Después de la adición de 10% de  $\text{NH}_3$ , la concentración de *Salmonella* spp. fue determinada en 2.6 log para el tratamiento a 20 °C; a 30 °C fueron determinados resultados similares. Sin embargo el incremento de la temperatura a 40 °C o mayores, redundó en la destrucción total de estos microorganismos.

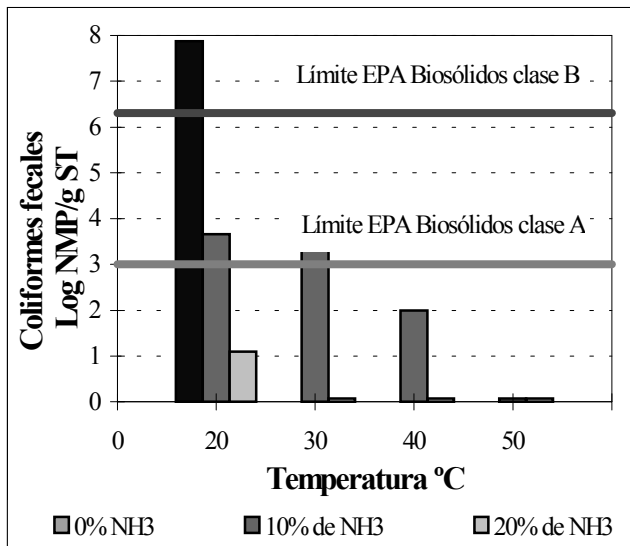


Figura 5: Efecto de la temperatura en la reducción de coliformes fecales en lodos tratados con  $\text{NH}_3$ .

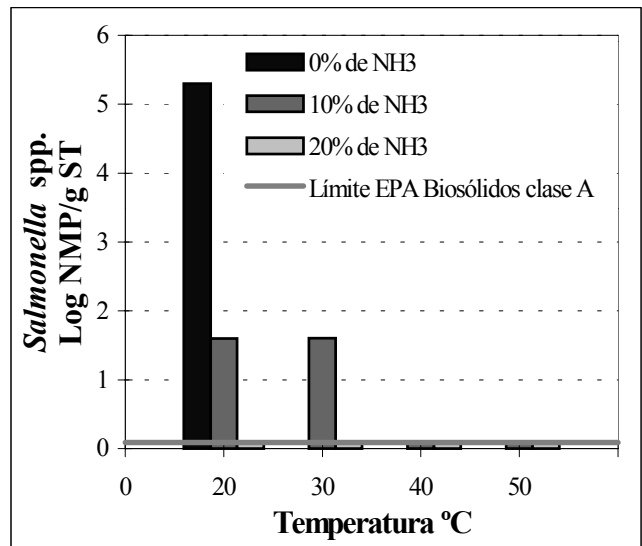


Figura 6: Efecto de la temperatura en la reducción de *Salmonella* spp. en lodos tratados con  $\text{NH}_3$ .

Al igual que en los casos anteriores, el uso de temperaturas superiores a 40 °C incrementó la eficiencia de los tratamientos con NH<sub>3</sub>. Cuando se aplicó 20% de NH<sub>3</sub> a 20 °C, el número de HH en lodos crudos fue reducido desde 89 hasta 31 HH viables/g ST (65% de eficiencia); una eficiencia similar (63%) se obtuvo con 30 °C; el tratamiento con 40 °C en cambio, tuvo una eficiencia más significativa de 78%; la única ocasión en que fue posible eliminar la totalidad de los huevos de helmintos viables fue con el tratamiento a 50 °C. Resultados similares se determinaron con 10% de NH<sub>3</sub>, donde las eficiencias de remoción fueron mayores cuando fue la temperatura fue ≥ 40 °C. La Figura 7 presenta los resultados para huevos de helmintos.

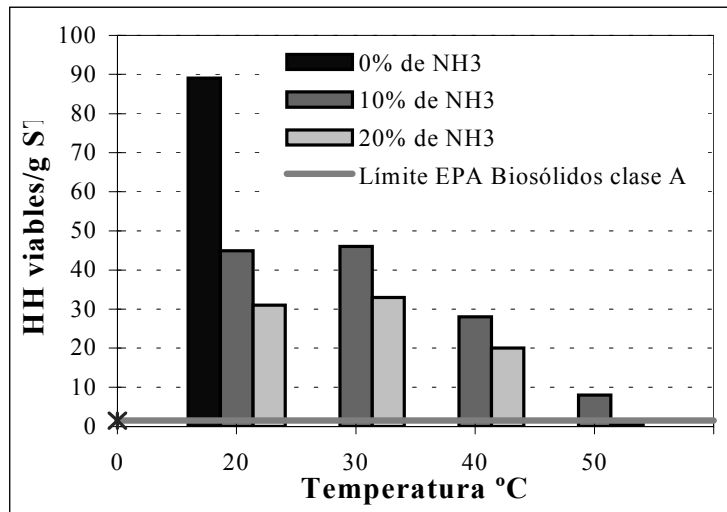


Figura 7: Efecto de la temperatura en la reducción de huevos de helmintos viables en lodos tratados con NH<sub>3</sub>.

Finalmente, la comparación de uso de sistemas abiertos y cerrados para conseguir similares grados de estabilización demostró que cuando se aplicó 5% de CaO, la concentración de Coliformes fecales en lodos crudos fue reducida de 7.4 a 6 log en los sistemas abiertos y a 4.5 log en los sistemas cerrados. Un efecto similar fue presentado con dosis de 10, 15 y 20% (Figura 8).

El uso de ambos sistemas para la estabilización alcalina también produjo diferencias significativas en la remoción de *Salmonella* spp., la Figura 9 muestra que su concentración fue reducida desde 5.5 log, para lodo crudo, hasta 3.9 log en los sistemas abiertos y hasta 2.6 log en los sistemas cerrados cuando se aplicó 5% de CaO. Nuevamente, las diferencias entre los tratamientos fueron cercanas a 1.5 log hasta dosis de 20% donde la concentración fue menor al límite de detección en ambos casos.

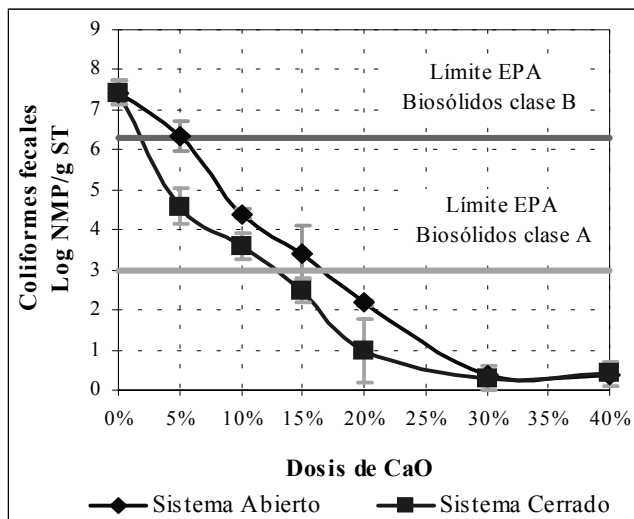


Figura 8: Reducción de coliformes fecales en lodos fisicoquímicos tratados con cal en sistemas abiertos y cerrados.

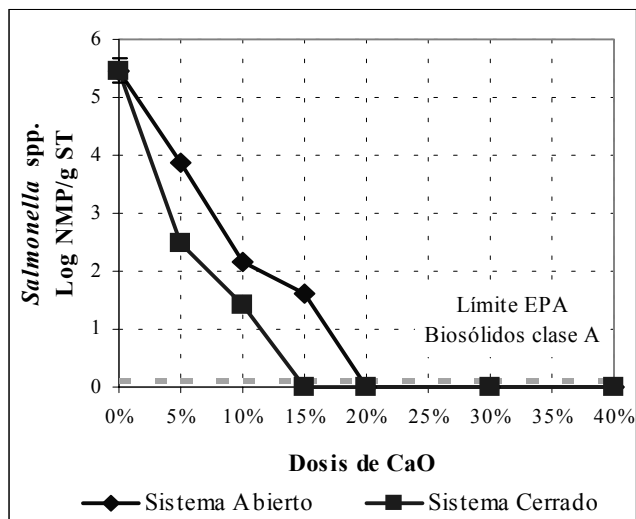


Figura 9: Reducción de *Salmonella* spp. en lodos fisicoquímicos tratados con cal en sistemas abiertos y cerrados.

La Figura 10 muestra que la concentración promedio inicial de huevos de helmintos viables fue 90 HH/g ST. Después del tratamiento con 5% de CaO, los lodos presentaron 45 HH/g ST (45% de eficiencia) en ambos sistemas. Con dosis de hasta 20% los resultados mostraron una diferencia significativa en las eficiencias inactivación que favorecieron a los sistemas cerrados. Con dosis mayores de 25% no se detectaron diferencias significativas.

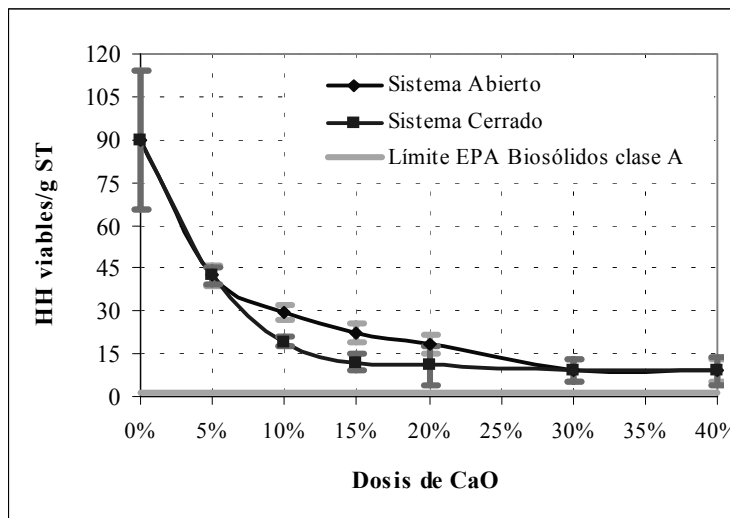


Figura 10: Reducción de huevos de helmintos en lodos tratados con cal en sistemas abiertos y cerrados.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye que la aplicación de amoníaco en la desinfección de lodos es una alternativa que reduce significativamente no sólo el alto contenido de bacterias sino también de huevos de helminto en lodos fisicoquímicos con dosis de 20%. Este tratamiento tiene la ventaja de no incrementar la masa del lodo, lo que

reduce los costos de manejo y transporte; además, al final del tratamiento, alcanza niveles similares de microorganismos a los que se obtienen en la estabilización con cal.

Como resultado de las pruebas con diferentes tiempos de contacto se puede establecer que, 2 horas de contacto producirán altas eficiencias de destrucción de microorganismos, siempre que el proceso se realice en dispositivos que permitan la retención del amoníaco en la solución de los lodos.

El NH<sub>3</sub> incrementa su poder desinfectante cuando mayor es la temperatura. Sin embargo, debido a los costos energéticos, es recomendable utilizar esta alternativa de tratamiento con temperatura ambiente y dejar que el amoníaco actúe en tiempos de contacto mayores a dos horas.

Como producto de la comparación de los sistemas abiertos y cerrados en la estabilización de lodos usando cal, es claro que las mejores eficiencias son obtenidas en un sistema cerrado debido a que éste mantiene en mayor medida el amoníaco producido junto con el calor generado en la reacción de la cal. En el proceso cerrado se requirieron de 2 a 5% menos cal para cumplir con los límites para biosólidos clase A.

Finalmente, al recuperar y recircular el amoníaco generado, los sistemas cerrados ayudan a reducir o eliminar el problema de olores, incrementar la destrucción de bacterias y la inactivación de huevos del helminto y reducir los requerimientos de compuestos alcalinos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allievi, L., Colombi, A., Calcaterra, E. and Ferrari, A. (1994). Inactivation of Fecal Bacteria in Sewage Sludge by Alkaline Treatment. *Bioresource Technology*, Vol. 49, 25-30.
- Arkivos, J., Mamais, D., Katsara, K., Andreadakis, A. (1999). Agricultural Utilisation of Lime Treated Sewage Sludge. *Proceedings of the IAWQ specialized conference on Disposal and Utilisation of Sewage Sludge: Treatment Methods and Application Modalities. International Association on Water Quality*. Atenas, Grecia, Oct. 13-15, 1999. 393-400.
- Bruce, A.M. (1984). *Sewage Sludge Stabilization and Disinfection*. Ellis Horwood Limited, UK, 320-340.
- Christy, P. (2000). Alkaline Stabilization of Biosolids, Sludge Lime Mixing Experiences Within the United States. *Proceedings of the Joint CIWEM Aqua Enviro Consultancy Services 5<sup>th</sup> European Biosolids and Organic Residuals Conference*. Published by Aqua Enviro Consultancy Services, P. Lowe and J. Hudson, Editors. Seminar 8, paper 68. Wakefield, United Kingdom. 1-3.
- Diario Oficial de la Federación, (2002). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México, 34 pp.
- Gaspar, P., Wiart, J. And Schwartzbrod, J. (1997). Parasitological Contamination of Urban Sludge Used for Agricultural Purposes, *Waste Management and Research*, Vol. 15, 429-436.
- Ghiglietti, R., Genchi, C., Di Mateo, L., Calcaterra, E., and Colombi, A. (1997). Survival of *Ascaris Suum* in Ammonia-Treated Wastewater Sludges. *Bioresource Technology*, Vol. 59, 195-198.
- Ghiglietti, R., Rossi, P., Ramsan, M., and Colombi, A. (1995). Viability of *Ascaris Suum*, *Ascaris Lumbricoides*, and *Trichuris Muris* Eggs to Alkaline pH and Different Temperatures. *Parasitology*, Vol. 37, 229-232.
- Girovich, M. J., (1996). *Biosolids Treatment and Management*. Marcel Dekker, Inc. Cap. 7. N.Y., E.U.A. 343-388.
- Jiménez, B., Barrios, J.A. and Maya, C. (2000). Class B Biosolids Production from Wastewater Sludge with High Pathogenic Content Generated in an Advanced Primary Treatment. *Water Science and Technology*, Vol. 42, No. 9, 103-110.
- Jiménez, B., Muñoz, A.M. y Barrios, J.A. (1997). *Estudio para fundamentar la propuesta de norma oficial mexicana en materia de tratamiento y disposición de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas municipales*. Reporte final elaborado para la Comisión Nacional del Agua, México. 128 pp.
- Lue-Hing, C., Zenz, D.R., y Kuchenrither, R. (1992). *Municipal Sewage Sludge Management: Processing Utilization and Disposal*. Technomic Publishing Company, Inc., U.S.A. 661 pp.
- Mignotte-Cadiergues, B., Grantzer, C. and Schwartzbrod, L. (2001). Evaluation of Bacteriophages During the Treatment of Sludge. In *Proceedings of the IWA Specialised Conference on Sludge Management: regulation, utilisation and disposal*. Acapulco, México, 358-365.
- Reimers, R., McDonell, D., Little, M. (1986). Chemical inactivation of pathogens in municipal sludges. In *Control of Sludge Pathogens*, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C. 1-23.
- U.S. EPA (1992). *Guidelines for water reuse*. Office of Wastewater Enforcement and Compliance. U.S. EPA/625/R-92/004.
- U.S. EPA (1994). *A Plain English Guide to the EPA, Part 503 Biosolids Rule*. U.S. EPA/832/R-93-003.