

EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS LODOS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA ZONA NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA

M.F. Arredondo¹, M.A. Iribarnegaray², V.I. Liberal³, W.A. Tejerina⁴ y L. Seghezzo^{5*}

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa-CONICET), Avda. Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina. Tel. +54-387-4255516; E-mail: Lucas.Seghezzo@conicet.gov.ar

Recibido 14/08/13, aceptado 24/09/13

RESUMEN: Se determinó la estabilidad de los lodos de las lagunas de estabilización de la zona Norte de la ciudad de Salta con la finalidad de elaborar recomendaciones para su gestión una vez clausurado el sistema de tratamiento. Se siguieron dos metodologías complementarias: el método normalizado de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y ensayos de estabilidad anaeróbica. Los resultados muestran que el lodo de las diferentes lagunas estudiadas se encuentra en general con un buen nivel de estabilización, lo que indicaría que el sistema operó de manera adecuada en su última etapa de funcionamiento.

Palabras clave: Abandono de sitio, estabilidad de lodos, lagunas de estabilización, Salta.

INTRODUCCIÓN

El incremento de las actividades y la población humana significa una mayor presión sobre los recursos naturales. La demanda de mayores cantidades de agua para usos domésticos e industriales requiere más y mejores procesos de tratamiento de las aguas residuales generadas (Seghezzo, 2004). El agua es un elemento básico en la composición y funciones de todos los seres vivos, como así también es el vehículo por excelencia de agentes patógenos, que pueden comprometer la salud. Estos microorganismos están presentes naturalmente en animales y en las heces u orina de las personas infectadas por lo que pueden pasar al agua, que en última instancia sirve como fuente de bebida, de higiene y de recreación (OMS, 2004). La carga de morbilidad mundial por diarrea está asociada en un 94% a factores de riesgo ambientales tales como consumo de agua no potable o saneamiento e higiene insuficientes (OMS, 2007).

Las lagunas de estabilización (LDE) son cuerpos de agua artificiales que pueden ser utilizados para el tratamiento de líquidos cloacales o aguas residuales domésticas (ARD) y se lo considera un sistema eficiente y económico. Se denominan de este modo debido a que en ellas se produce la descomposición de la materia orgánica por procesos anaeróbicos y aeróbicos, comúnmente denominados procesos de estabilización (von Sperling, 1996; Yáñez Cossío, 1993). El tratamiento de líquidos cloacales mediante LDE puede ser utilizado en sitios donde el costo del terreno es reducido, en donde las condiciones climáticas de iluminación y temperatura son favorables, en condiciones de alta carga orgánica con variaciones considerables y muy en particular, donde se requiera una alta reducción de organismos patógenos. Las LDE son sistemas de tratamiento primario, secundario y terciario a la vez, ya que intervienen procesos físicos de decantación de material en suspensión (tratamiento primario), etapas biológicas de remoción de materia orgánica (tratamiento secundario) y eliminación de microorganismos patógenos y nutrientes (tratamiento terciario) (Yáñez Cossío, 1993). Las LDE generalmente se clasifican en anaeróbicas, facultativas y de maduración. En las lagunas anaeróbicas predominan procesos de fermentación anaeróbica. También son llamadas lagunas de procesamiento primario debido a que son las que reciben los líquidos cloacales crudos. El proceso de tratamiento se desenvuelve en condiciones de ausencia de oxígeno libre con una gran carga orgánica y por consiguiente, un corto período de retención. Estas lagunas actúan como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla y debido a las altas cargas orgánicas que soportan, el efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica y requiere de otro proceso de tratamiento. Finalizado el proceso en estas lagunas, la materia orgánica (expresada como Demanda Química de Oxígeno o DQO) es estabilizada anaeróbicamente alrededor de un 50 y 60%. La DQO restante es removida en las lagunas facultativas (Yáñez Cossío, 1993). Las lagunas facultativas son aquellas en donde los procesos de fermentación anaeróbica, oxidación aeróbica y reducción fotosintética, ocurren simultáneamente. Su contenido de oxígeno varía de acuerdo a la profundidad y hora del día. Las características principales de estas lagunas son el comensalismo entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaeróbica en los sólidos sedimentados en el fondo. Por consiguiente, su ubicación como unidad de tratamiento en este sistema de lagunas es como una unidad secundaria después de las lagunas anaeróbicas. Las lagunas de

¹ Facultad de Ciencias Naturales (UNSa), INENCO

² Becario Postdoctoral CONICET, INENCO

³ Profesora Adjunta Facultad de Ingeniería (UNSa), INENCO

⁴ Profesor Ajunto Facultad de Ingeniería (UNSa)

⁵ Investigador Ajunto CONICET, INENCO

*Autor a quien se debe enviar la correspondencia

maduración son lagunas relativamente menos profundas donde, por acción simultánea de la luz solar, el oxígeno del aire y el pH del agua, tienen lugar procesos de muerte de microorganismos patógenos y remoción de nutrientes (tales como nitrógeno y fósforo) por acción de las algas.

Luego de quedar habilitada la nueva planta de tratamiento de la zona Norte de la ciudad de Salta, sobre la margen izquierda del río Mojotoro, las anteriores lagunas de estabilización, denominadas “sistema Castañares-Ciudad del Milagro” se dieron de baja operativa. Esto ha originado la necesidad de poner en práctica diferentes medidas para asegurar que este proceso de abandono sea realizado de una forma correcta, con mínimos riesgos ambientales y sociales. El proceso de abandono y clausura de un sistema de LDE requiere desarrollarse de manera adecuada, previniendo, corrigiendo, mitigando o compensando los impactos ambientales y sociales que pudieran generarse. Un aspecto fundamental de este proceso es garantizar que los lodos depositados en el fondo de las lagunas estén correctamente estabilizados, es decir que no generen gases combustibles producto de la degradación de la materia orgánica remanente (Seghezzo *et al.*, 2006). La generación de estos gases puede generar molestias, favorecer procesos de hundimiento de suelos, y ocasionar potenciales peligros de explosión en caso de que se enciendan fuegos en las cercanías. Los procesos de estabilización de lodos a temperatura ambiente pueden llevar un tiempo considerable, por lo que el estudio de la estabilidad se torna indispensable para planificar los tiempos de espera entre el cierre de la planta y el momento en que se inicien los procesos de secado definitivo de las lagunas y acondicionamiento del predio para su posterior destino. En este trabajo se determinó la estabilidad de los lodos de las antiguas lagunas de estabilización de la zona Norte de la ciudad de Salta (sistema Castañares-Ciudad del Milagro) con la finalidad de elaborar recomendaciones para su gestión una vez clausurado el sistema.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación

Las LDE estudiadas en este trabajo se encuentran emplazadas en la zona Norte de la ciudad de Salta, cerca de la intersección de los ríos Vaqueros, Wierna y La Caldera, que luego forman el río Mojotoro. Estas lagunas fueron diseñadas para tratar los líquidos cloacales de los barrios Ciudad del Milagro, Universitario y Castañares (Da Silva Wilches, 2001; Liberal *et al.*, 1998; Arenas, 2010). El sistema puede ser dividido en dos sub-sistemas integrados por tres lagunas cada uno (**Figura 1**). En el diseño original estaba previsto que cada sistema contenga una laguna anaeróbica, una facultativa y una de maduración. Por cuestiones operativas, la laguna de maduración del Sistema Ciudad del Milagro se opera como una segunda laguna facultativa (ver configuración de ambos sistemas en la **Figura 1**). El predio circundante a las LDE se encontraba totalmente deshabitado en un radio de aproximadamente 800 m al momento de su puesta en funcionamiento. Debido a la expansión demográfica que experimentó esta zona en los últimos años, y por problemas de planificación urbana, la planta de tratamiento fue rodeada por asentamientos poblacionales que se fueron consolidando paulatinamente. Los barrios más próximos a las lagunas son: Juan M. de Rosas (2918 habitantes), 17 de Octubre (3670 habitantes) y La Unión (2153 habitantes) (CoSAySa, 2012).



Figura 1. Ubicación de las lagunas de estabilización del sistema Castañares-Ciudad del Milagro. 1: Lagunas anaeróbicas; 2: Lagunas facultativas; 3: Lagunas de maduración.

Muestreo de lodos

La obtención de muestras de lodos se realizó desde un bote mediante muestreador de fondo construido por personal de la Compañía Salteña de Agua y Saneamiento (CoSAySa). Las muestras se colocaron en bidones de plástico de 5 L. Los puntos de muestreo de los lodos se fijaron a una distancia aproximada de un tercio de la zona de ingreso de los líquidos (punto 1) y a un tercio de la zona de egreso de los mismos (punto 2) (**Figura 2**). Los muestreos se realizaron de manera conjunta por personal del INENCO y de CoSAySa luego de una inspección del sistema de tratamiento (**Figura 3**, izquierda y centro). En el punto 1 se tomaron dos muestras, una del lodo superficial y otra a la mayor profundidad posible (entre 1.5 y 2 m). En el punto 2 se tomó solo una muestra a altura media (aproximadamente 1 m). Las muestras tomadas en el punto 1 se realizaron con el objetivo de hacer comparaciones entre las mismas y comprobar si había alguna variación según la ubicación, ya que se trata de la zona de la laguna con mayor cantidad de lodos. En el Sistema Castañares se tomaron las tres muestras indicadas en la laguna anaeróbica (dimensiones: 185 x 60 m) y sólo una muestra en el punto 1 en la laguna de maduración (dimensiones aproximadas: 100 x 50 m). En el Sistema Ciudad del Milagro sólo se consiguió muestrear la laguna anaeróbica (dimensiones: 163 x 56 m) donde se tomaron las dos muestras del punto 1. Las muestras se mantuvieron refrigeradas a 4°C hasta su análisis o utilización.

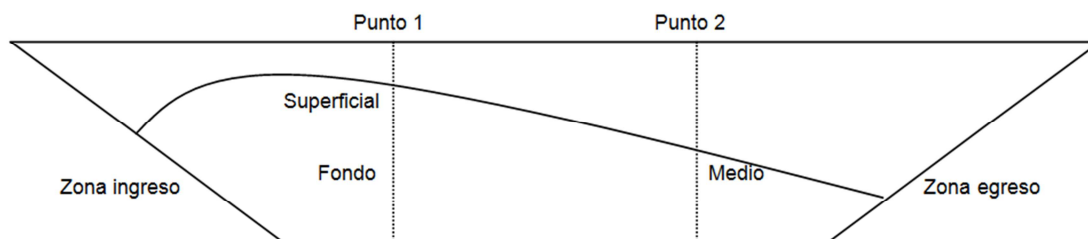


Figura 2. Corte transversal de una laguna indicando los puntos de muestreo de lodos.

Ensayos de laboratorio

Las muestras de lodo se sometieron a ensayos de estabilidad mediante dos técnicas diferentes: (a) ensayos de estabilidad anaeróbica (Seghezzi *et al.*, 2006); y (b) el método normalizado de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos).

Método Normalizado de la EPA

El método normalizado de la EPA (2003) mide el porcentaje de reducción de sólidos volátiles de una muestra luego de un proceso de digestión anaeróbica de cuarenta días a temperatura constante o ambiente. El porcentaje de reducción obtenido indica el grado de estabilización de la muestra. Este método apunta a determinar la reducción de la “fuente de alimentación” para vectores (bacterianos o animales), lo que reduce el atractivo de las aguas residuales para dichos vectores. Los sólidos volátiles se miden con el método normalizado (APHA *et al.*, 1995). Según la guía de la EPA para biosólidos, “un requisito para reducir la atracción de vectores es que la masa de sólidos volátiles en el lodo de aguas residuales se reduzca al menos en un 38%. Este porcentaje de reducción se determina restando de la masa de sólidos volátiles inicialmente presentes en el lodo, los eliminados por el proceso de digestión anaeróbica y dividiendo ese valor por la masa de sólidos volátiles inicialmente presentes. Este valor se multiplica por 100 para obtener el porcentaje de reducción. La EPA posteriormente modifica esta guía para lodos de plantas depuradoras digeridos anaeróbicamente en laboratorio, reduciendo la exigencia de remoción de sólidos volátiles al 17%. Este nuevo requisito surge en razón de que el contenido de sólidos volátiles de algunos lodos de aguas residuales es bajo antes de que el lodo sea tratado anaeróbicamente en el laboratorio. En este caso, es muy difícil alcanzar una reducción del 38% de sólidos volátiles durante la digestión. A escala laboratorio debe ocurrir una digestión anaeróbica adicional durante 40 días a una temperatura entre 30°C y 37°C. La EPA concluyó que cuando el porcentaje de reducción de sólidos volátiles después del período de digestión anaerobia adicional es 17% o menos, los vectores no se verán atraídos a los lodos de alcantarillado, lo cual indica que el lodo se encuentra suficientemente “estabilizado”.

Estabilidad anaeróbica

La estabilidad anaeróbica se expresa como $\text{gDQO-CH}_4/\text{gSSV.d}$, o sea la cantidad de gas metano producido por día (en términos de DQO) por cada gramo de bacterias presentes en el medio, expresadas en términos de sólidos suspendidos volátiles (SSV). Para el cálculo de la estabilidad es necesario registrar de manera periódica (en general una o dos veces por día) los mL de CH_4 que se producen en cada botella donde se realiza el experimento. El principio del método es transformar los mL de metano medidos en las condiciones del experimento (30°C, presión atmosférica de trabajo, gas con un cierto contenido de humedad) a gramos de DQO en condiciones normales (0°C y 1 atmósfera de presión), considerando que el gas está exento de humedad. A este valor hay que dividirlo por la cantidad de sólidos volátiles suspendidos presentes en el medio, la cual se obtiene de la medición de los sólidos volátiles de la muestra de lodo. A los efectos de este informe, se considera que los sólidos volátiles (SV) no difieren significativamente de los SSV. El resultado final estará expresado en $\text{gDQO-CH}_4/\text{gSV.d}$. La curva de las variables acumuladas $\text{gDQO-CH}_4/\text{gSV.d}$ versus tiempo sirve para visualizar en qué punto la producción de metano es despreciable o marginal y se puede terminar el ensayo. Cabe aclarar que este ensayo no tiene una duración definida, ya que la producción de metano dependerá del grado de estabilidad inicial del lodo analizado. Para realizar este ensayo, se utilizaron botellas de suero de 1 L. Las muestras de lodo se diluyeron en agua destilada para favorecer el contacto de las bacterias anaeróbicas con el lodo, para evitar la formación de una capa de espuma, para reducir las frecuencias de mediciones de metano y por razones de seguridad (las botellas pueden estallar si la producción de metano es

demasiada alta). No se añadieron nutrientes, sustratos o compuestos buffer. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente y a 30°C con la finalidad de poder evaluar si hay diferencias en los resultados con la variación de la temperatura. Las pruebas de estabilidad por medición del gas metano fueron realizadas por duplicado. Antes de iniciar el ensayo, se procedió a burbujear las muestras durante 3 minutos con nitrógeno gaseoso para eliminar el aire de la solución. Las botellas se cerraron y no volvieron a abrirse hasta finalizar el ensayo, que duró aproximadamente unos 4 meses.

La medición de gas metano se realizó mediante el sistema de desplazamiento de una solución concentrada de NaOH (15-20 g/L) conteniendo un indicador de alcalinidad (Azul de Timol) (**Figura 3**, derecha). Se utilizó para la medición una botella de suero de 500 mL. A medida que el biogás pasa a través de esta solución de pH alto, el CO₂ del biogás se disuelve o precipita como carbonato de sodio. Únicamente el gas metano pasa a través de la solución y un volumen equivalente de solución es impulsado afuera de la botella de suero. El líquido desplazado se mide en un cilindro graduado e indica la producción de CH₄. Una vez llenadas con las muestras, las botellas se dejaron cerradas un día entero para permitir que el sistema se equilibre a la temperatura del cuarto. La medición de gas se inició al día siguiente. Antes de iniciar la medición las botellas se agitaron suavemente durante algunos segundos. La medición del gas se hizo conectando las botellas de muestras al sistema de desplazamiento (botella de suero invertida) durante 5 minutos agitando cada tanto la botella con la muestra de lodo. Se anotó la hora de comienzo y finalización y se registraron los mL desplazados. Luego de la medición las botellas se almacenaron nuevamente a la temperatura que corresponda y al abrigo de la luz solar. La regularidad de las mediciones dependió de la cantidad de mL producidos, que son proporcionales a la estabilidad del lodo. Los ensayos de estabilidad se realizaron a las muestras de lodos superficiales correspondientes a las lagunas primarias de cada uno de los dos sistemas de lagunas, debido a que se considera que son los lodos que menos estabilizados se encuentran. En caso que estos lodos resulten estar estabilizados, se puede inferir que también lo estarán los lodos más profundos, dado que estos últimos han permanecido más tiempo en las lagunas.



Figura 3. Izquierda y centro: toma de muestras de lodos en las lagunas de estabilización. Derecha: medición de gas metano por el sistema de desplazamiento de líquido.

RESULTADOS Y DISCUSION

La reducción de sólidos volátiles obtenida en las distintas muestras analizadas se detalla en la **Tabla 1**. Los promedios obtenidos se muestran en la **Tabla 2**. Como se puede observar en ambas tablas, el porcentaje de reducción de SV en todos los casos proporcionó un valor inferior al 17%, lo que indica que el lodo estaría estabilizado según la norma de la EPA. En todos los casos se pudo observar que es mayor el valor de reducción de sólidos en los ensayos realizados a 30°C en comparación con los realizados a temperatura ambiente. Esto se debe a que la actividad de las bacterias encargadas de digerir el lodo aumenta con el aumento de la temperatura. Se puede observar además que las muestras que no fueron diluidas obtuvieron valores muchos más altos de reducción que las muestras diluidas, debido probablemente a que las bacterias tenían una mejor accesibilidad al sustrato.

La producción de metano obtenida en los ensayos de estabilidad anaeróbica para las diferentes muestras se muestra en la **Figura 4**. La producción de gas fue elevada al comienzo y con el paso de los días fue disminuyendo. La producción de gas fue siempre mayor en los ensayos realizados a 30°C debido a la mayor actividad de las bacterias a esa temperatura. En la laguna de Castañares la producción de gas a temperatura ambiente fue bastante mayor que la obtenida de la laguna de Ciudad del Milagro. Esto indicaría que los lodos pertenecientes a las lagunas del último sistema se encontrarían más estabilizados. Durante la toma de muestras se pudo observar también que la cantidad de lodo era mayor en la laguna de Castañares. El ensayo de estabilidad anaeróbica no tiene un valor estandarizado que permita concluir cuándo un lodo está estable. El valor de este ensayo es que permite seguir la producción de gas en el tiempo para determinar el período necesario para llegar hasta la total estabilización del lodo, o hasta una estabilidad parcial que se considere suficiente. Estos ensayos son útiles en combinación con el método de la EPA, que sí ofrece un valor estandarizado de estabilización de los lodos. Como puede verse en todas las curvas de la **Figura 4**, la producción de gas es prácticamente despreciable al término del período de los ensayos realizados (aproximadamente 120 días). Este valor podría ser utilizado para determinar los tiempos necesarios de permanencia de los lodos en las lagunas hasta su total estabilización, luego de la clausura de las lagunas y antes de su secado, drenaje y posterior relleno. Por ejemplo, aplicando un factor de seguridad de 1.5, el tiempo recomendable de estabilización de lodos sería de 180 días. Si se utiliza un factor de 2.0, este tiempo se extendería hasta 240 días. Los ensayos de estabilización realizados indican que el lodo de las lagunas de ambos sistemas se encuentra relativamente bien estabilizado. La alta estabilidad encontrada podría indicar que las lagunas han recibido cargas menores a las de diseño en el último período de operación.

Muestra Origen	Temperatura	Réplica	Técnica	SV (g/L)		Reducción (%)
				Inicial	Final	
Castañares	Ambiente	a	Dilución	34,6	34,3	0,9
		b		34,7	34,1	1,7
		c		34,3	34,1	0,7
		Única	7 días	34,9	34,4	1,5
		a	Sin diluir	34,1	32,8	3,8
		b		34,0	32,1	5,5
	30°C	a	Diluidas	35,4	31,7	10,6
		b		34,9	32,5	6,9
		c		35,0	31,9	8,9
		Única	7 días	34,2	32,4	5,3
		a	Sin diluir	34,6	30,4	12,2
		b		34,5	30,9	10,3
Ciudad del Milagro	Ambiente	a	Diluidas	31,7	32,5	-2,4*
		b		31,1	31,2	-0,3*
		c		31,5	30,8	2,5
		Única	7 días	32,0	31,8	0,6
		a	Sin diluir	30,4	29,6	2,7
		b		32,3	32,0	0,9
	30°C	a	Diluidas	30,7	35,1	-14,1*
		b		31,4	30,3	3,5
		c		31,7	29,8	6,0
		Única	7 días	32,2	31,2	3,1
		a	Sin diluir	32,8	30,2	8,0
		b		32,3	27,2	15,8

Tabla 1. Porcentaje de reducción de sólidos volátiles obtenido en diferentes muestras de lodo de lagunas de estabilización. Se aplicó el Método Normalizado de la EPA con las variaciones indicadas en la columna "Técnica". La dilución aplicada fue de 1+1 con agua destilada. La botella que indica "7 días" se midió cada 7 días con la finalidad de tener un dato de reducción semanal. *Datos anómalos no utilizados en los cálculos de los promedios.

Origen de la muestra	Temperatura	Reducción de SV (%)	
		Muestra diluida 1:1	Muestra pura
Castañares	Ambiente	1,1	4,6
	30°C	8,8	11,3
Ciudad del Milagro	Ambiente	2,5	1,8
	30°C	4,8	11,9

Tabla 2. Porcentaje de reducción de sólidos volátiles promedio por muestra y por temperatura.

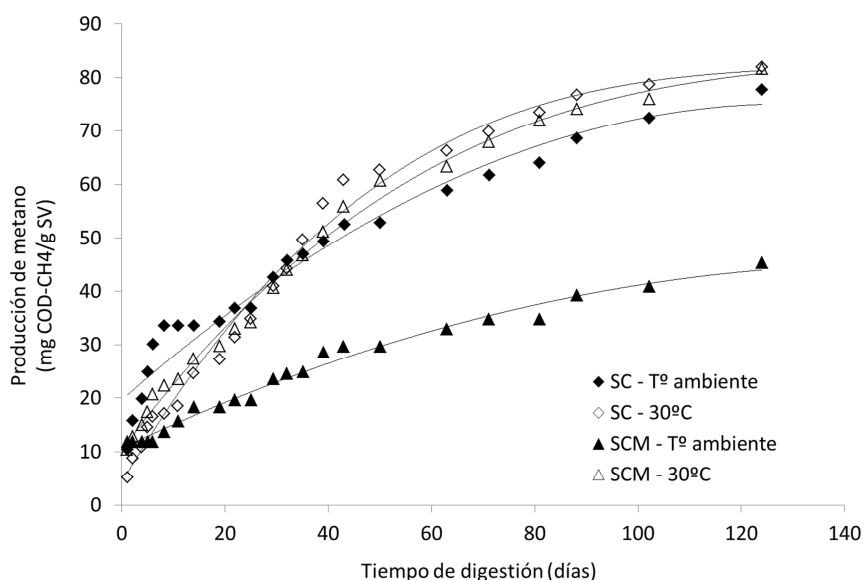


Figura 4. Producción de gas metano a temperatura ambiente y a 30°C del lodo de las lagunas de los sistemas Castañares (SC) y Ciudad del Milagro (SCM). Las muestras fueron tomadas en la zona de ingreso de líquidos cloacales a las lagunas.

Para garantizar una estabilización completa, las lagunas deberían permanecer con líquido hasta que el lodo se encuentra completamente estabilizado. Según los análisis realizados, y aplicando distintos factores de seguridad, recomendamos que

son necesarios entre 6 y 8 meses a partir del día en que dejó de ingresar el líquido cloacal al sistema bajo estudio para lograr una estabilización completa de los lodos. A partir de la información bibliográfica y de la opinión de los expertos consultados, se considera recomendable que el lodo, una vez estabilizado, permanezca en el lugar donde se ha generado. La utilización de este lodo en otros lugares como mejorador de suelos requeriría una previa disminución de la carga bacteriana que presenta, así como la remoción de los huevos de parásitos que contiene (en este estudio no se realizaron determinaciones de parásitos). Consideramos que estas complejas acciones no se justifican ante la alternativa de enterrarlos en el mismo sitio, aprovechando los movimientos de tierra que se realizarán para recuperar el terreno para otros usos futuros.

CONCLUSIONES

- Los lodos de las lagunas estudiadas están estabilizados según el criterio de atracción de vectores de la EPA.
- Los ensayos de estabilidad anaeróbica realizados indican que la estabilidad completa de los lodos se alcanzaría en aproximadamente 3 meses.
- Existen diferencias entre los sistemas en cuanto a estabilidad de lodos probablemente debidas a diferencias en las condiciones operativas de los últimos tiempos.
- La alta estabilidad encontrada podría indicar que las lagunas han recibido cargas menores a las de diseño en el último período de operación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la cooperación y la información provista por CoSaySa. Este trabajo fue financiado por el CONICET (Proyecto PIP 11420090100392), el Consejo de Investigación de la UNSa (Proyecto 1857), la Facultad de Ciencias Naturales de la UNSa (mediante fondos de ayuda a tesis de grado), y la Fundación Capacitar del NOA con financiamiento del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT) (Proyecto PFIP 2008-1).

REFERENCIAS

- APHA, AWWA y WEF (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Decimonovena edición, Eaton, A.D., Clesceri, L.S., y Greenberg, A.E., editores., American Public Health Association, American Waters Works Association, y Water Environment Federation, Washinton DC, Estados Unidos.
- Arenas, A.N. (2010). *Parámetros cinéticos en lagunas de estabilización*. Tesis de Magister en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- CoSaySa (Compañía Salteña de Agua y Saneamiento) (2012). Baja operativa del sistema de tratamiento de líquidos cloacales de la zona norte de la ciudad de Salta. Consideraciones socio-ambientales.
- Da Silva Wilches, A.C. (2001). Estudio de impacto ambiental de las lagunas de estabilización de Castañares y Ciudad del Milagro. Tesina. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- EPA (Environmental Protection Agency) (2003). Normas y Tecnología Ambiental. Control de Patógenos y Atracción de Vectores en Lodos de Depuradora. Bajo 40 CFR Parte 503. Informe de la EPA, Cincinnati, OH, Estados Unidos.
- Liberal, V., Cuevas, C.M., Trupiano, A.P. y Bohuid, E. (1998). Determinación de constantes cinéticas en lagunas de estabilización de Salta, en *Actas 23º Congreso Interamericano de Saneamiento y Medio Ambiente*, Lima, Perú.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2004). *Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. Hechos y cifras*. Disponible en www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/index.html
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2007). *Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares. Red Internacional para la promoción del tratamiento y almacenamiento seguro del agua doméstica*. Ginebra. Disponible en: www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/combating/combating.html
- Seghezzo, L. (2004). *Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions (Tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas en regiones subtropicales)*. Tesis doctoral. Universidad de Wageningen, Holanda.
- Seghezzo, L., Cuevas, C.M., Trupiano, A.P., Guerra, R.G., González, W.A., Zeeman, G. y Lettinga, G. (2006). Stability and activity of anaerobic sludge from UASB reactors treating sewage in subtropical regions. *Water Science and Technology* **54**(2), 223-229.
- von Sperling, M. (1996). Principios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 3, Lagoas de estabilização, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DESA), Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil (en portugués).
- Yáñez Cossío, F. (1993). *Lagunas de Estabilización: teoría, diseño, evaluación y mantenimiento*. Cuenca, Ecuador.

ABSTRACT

The stability of different samples of sludge from Waste Stabilization Ponds (WSP) was determined by means of two complementary methodologies: a standardized procedure developed by the U.S. Environmental Protection Agency and a laboratory test to measure anaerobic sludge stability. Results from this study can provide some guidelines to minimize environmental and social impacts after wastewater treatment systems such as WSP are definitely abandoned. Results obtained with both methods indicate that sludge from all WSP studied is well stabilized. This finding also suggests that the systems have been operating at low organic load in recent times.

Keywords: environmental site assessment, Salta, sludge stability, Waste Stabilization Ponds.