

## ***Aprovechamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora Los Berros, del Sistema Cutzamala. Primera etapa***

En la depuración de aguas residuales y la potabilización por clarificación de aguas superficiales (ríos, lagos, presas, etc), se generan significativas cantidades de lodos que, en caso de no tener una adecuada disposición final, contribuyen de manera importante a la contaminación del ambiente, afectando suelo, agua y aire (Arteaga y Cusidó-Fábregas, 1998).

En Francia, por ejemplo, en 384 plantas potabilizadoras con una producción total de agua tratada de  $1.2 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/año, se generan 63 800 t/año (base seca) de lodos (Adler, 2002). En España, la obtención de agua potable para consumo humano proviene, en más de 80 % de los casos, de la potabilización de aguas superficiales, y se producen anualmente 120 mil toneladas de materia seca de residuo en 215 estaciones de potabilización de aguas superficiales, generadoras de  $1.35 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/año de agua potable (Armenter et al,

2002). En México no existen datos sobre la producción de lodos; sin embargo, se considera que ésta puede ser significativa si tomamos en cuenta el flujo tratado de agua cruda ( $2.84 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/año) en 307 plantas potabilizadoras que utilizan clarificación en su tren de tratamiento.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y el Sistema Cutzamala (Gravamex y SC), opera la planta potabilizadora Los Berros (PPLB) del sistema Cutzamala para entregar agua potable a la ciudad de México y su zona metropolitana, así como a la ciudad de Toluca. Estos residuos han sido acumulados a lo largo de veinte años en las instalaciones de dicha planta potabilizadora dentro de tres sistemas de disposición (una presa y dos tarquinas). Debido a lo anterior, Gravamex y SC solicitaron al Instituto de Ingeniería que realizara un estudio para determinar las opciones viables de valoración o aprovechamiento de estos residuos.

Con base en los antecedentes presentados, se planteó como objetivo del proyecto proponer y evaluar conceptualmente tres opciones viables, desde los puntos de vista técnico, económico, social y ambiental, para aprovechar mediante diferentes opciones los lodos depositados y generados en el tren de tratamiento de la planta potabilizadora Los Berros, del Sistema Cutzamala. La metodología aplicada para este estudio abarca seis actividades principales:

- 1) Determinar el estado actual del conocimiento relacionado con las características, volúmenes producidos y opciones de aprovechamiento de los lodos de plantas potabilizadoras.
- 2) Precisar, mediante un programa de muestreo y caracterización, las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos depositados y los generados en el tren de tratamiento de la planta potabilizadora en estudio, para poder establecer diferentes alternativas de aprovechamiento de estos residuos.
- 3) Estimar los volúmenes de los lodos depositados y los flujos de lodos generados en el tren de tratamiento de la planta potabilizadora en estudio.
- 4) Seleccionar, con base en los resultados de caracterización y estimación de volúmenes, seis alternativas para el aprovechamiento de los lodos depositados y generados en la planta potabilizadora

en estudio con base en sus propiedades, volúmenes o flujos estimados.

- 5) Determinar en laboratorio, y de manera preliminar, los principales parámetros que permitan estimar la viabilidad técnica de las seis opciones seleccionadas para aprovechar los lodos depositados y generados en la planta potabilizadora.
- 6) Realizar pruebas de acondicionamiento (deshidratación y estabilización microbiológica) de lodos de la planta potabilizadora en estudio.
- 7) Determinar la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de las opciones de valoración consideradas.

En este estudio se determinó, con base en la información bibliográfica, que las principales opciones de aprovechamiento de lodos que se aplican en plantas potabilizadoras o a nivel de planta piloto son: 1) elaboración de cemento en polvo, 2) aplicación en suelos (elaboración de brechas cortafuego en suelos forestales y, en menor grado, aprovechamiento como mejorador de suelos en invernaderos), 3) elaboración de productos de la construcción (tabicones), 4) elaboración de productos cerámicos de alfarería (vasijas ornamentales y ladrillos), 5) elaboración de adsorbentes y catalizadores a base de alúmina, y 6) recirculación de lodos en el tren de tratamiento de plantas potabilizadoras.

El muestreo y la caracterización de los lodos evaluados en este estudio se realizaron en dos periodos: época de estiaje (21 a 23 de junio de 2005) y época de lluvias (3 de agosto de 2005). Los valores de las características (fisicoquímicas y de contenido de óxidos) presentaron diferencias significativas entre ambas épocas. El análisis del contenido de óxidos reveló que estos residuos están constituidos principalmente de aluminio, silicio y compuestos orgánicos. El contenido de metales pesados no rebasó los límites propuestos por la normatividad mexicana correspondiente a residuos. En general, este desecho no es clasificado como un residuo peligroso, y sus características fueron similares a las reportadas en la bibliografía para otros lodos de plantas potabilizadoras.

Durante los dos periodos de muestreo realizados también se recolectaron muestras de lodo y de agua (influyente y efluente) en sedimentadores, para estimar la producción de lodos y la cantidad de lodos que se depositan en la parte inferior de aquéllos. Los

resultados muestran que la producción total de lodos, en términos de sólidos suspendidos totales, oscila, en las condiciones actuales de operación, de 1 050 a 1 200 t/mes (respectivamente, en época de lluvias y de estiaje), de las cuales entre el 36 y el 53 % (respectivamente) son recuperadas por el sistema de recuperación de lodos, entre 25 y 40 % (respectivamente) se depositan en el fondo de sedimentadores, y el resto pasa a filtros, donde se recircula en el inicio del tren de tratamiento. El porcentaje depositado en el fondo de sedimentadores fue significativamente elevado y puede ser un indicador de que el sistema de recuperación de lodo no operó en condiciones óptimas, al menos durante el muestreo realizado en este estudio.

Con base en los resultados de caracterización y estimación de volúmenes, se seleccionaron las seis principales opciones de aprovechamiento señaladas en la bibliografía y mencionadas en párrafos previos. De las pruebas de aprovechamiento, resaltan los buenos resulta-

dos obtenidos en la elaboración de materiales de la construcción y productos cerámicos de alfarería.

La estimación de la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de cada opción se realizó aplicando el método de matriz de decisión multicriterio. Considerando la calificación total ponderada, que toma en cuenta los cuatro aspectos evaluados (técnico, económico, social y ambiental), de cada una de las seis opciones, se determinó que el valor máximo fue 67.5 % (el cual está todavía muy por debajo de la calificación ideal de 100 %) y el mínimo fue 45.3 %. Las cuatro mejores opciones de aprovechamiento de lodos, debido a que obtuvieron las mejores calificaciones ponderadas, fueron las siguientes (en orden decreciente): 1) aplicación en suelos (66-67.5 %), 2) elaboración de cemento en polvo (65 % para lodo espesado), 3) elaboración de tabicones y productos cementantes (62.6 % para lodo deshidratado) y 4) productos cerámicos (55.1 %).



Floculación de lodos purgados de sedimentadores  
Segunda etapa de espesamiento



Clarificación de lodos purgados de sedimentadores  
Tercera etapa de espesamiento



Tamizado de lodos espesados antes de su  
envío a deshidratación



Detalle de centrifugadora y de dosificador de  
polímero para espesamiento y deshidratación



Descarga de lodos deshidratados en contenedor abierto



Silo de lodos deshidratados



Sección del sedimentador donde se muestran las paredes con lodos adheridos



Etapa de vaciado de sedimentador donde se aprecian los lodos depositados en el fondo



Lodo depositado en las placas del sedimentador



Lavado hidráulico (mangueras y botes) del sedimentador



Pruebas de los nucleadores de material de PVC de 1.5 pulgadas de diámetro para el muestreo de los lodos en la tarquina



Prueba de tracción de la balsa para el muestreo de lodos donde hay agua acumulada

## **Aplicación del agua residual tratada con ozono en el reúso agrícola**

Las aguas residuales originadas en la ciudad de México se transportan a lo largo del gran canal del desagüe y se aprovechan para riego agrícola, principalmente en Chalco y Chiconautla, en el Estado de México, y el valle del Mezquital y Tulancingo, en Hidalgo. Otros distritos que utilizan aguas residuales son Valsequillo, Puebla, y Ciudad Juárez, Chihuahua.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el aprovechamiento en el riego agrícola de aguas residuales tratadas inadecuadamente, y más aún de las no tratadas, representa un alto riesgo para la salud pública por la posible transmisión de microorganismos patógenos presentes en ellas debido a que muchas verduras y hortalizas regadas con estas aguas se consumen crudas.

En particular en México, las aguas residuales contienen concentraciones muy elevadas de microorganismos patógenos que producen enfermedades gastrointestinales, como amibiasis. A la fecha los desarrollos tecnológicos para el tratamiento de aguas residuales presentan ventajas en el aspecto ambiental pero no en el de rendimiento agrícola, por lo que urge una tecnología económicamente disponible que pueda ser adoptada y represente beneficios en ambos aspectos. El ozono es una buena opción, ya que es bien conocida su capacidad desinfectante sobre una amplia gama de microorganismos presentes en agua residual; sin embargo, son escasos los estudios relacionados con su efecto en la productividad de cultivos y los posibles productos tóxicos que pueda liberar.

En este trabajo se investigó el efecto del ozono en agua residual cruda que es aprovechada para la agricultura, por lo que se pretende mantener en ella la materia orgánica y los nutrientes benéficos para el suelo, destruyendo sólo los microorganismos patógenos que afectan la salud humana según los límites de bacterias y parásitos establecidos por la normatividad mexicana NOM-001ECOL 1996 (SEMARNAP, 1996).

Esta investigación permitió sustentar los beneficios de aplicar agua residual desinfectada con ozono para el

reúso agrícola y eliminar los microorganismos patógenos que producen las tres enfermedades más importantes transmitidas por el agua en México, así como demostrar el efecto de esta metodología en el rendimiento de los cultivos.

Para llevar a cabo los experimentos, se generó ozono en un equipo de laboratorio y se controlaron parámetros como dosis aplicada, temperatura y potencial hidrógeno. El ozono generado se aplicó a muestras de aguas residuales municipales provenientes de la planta de tratamiento del cerro de la Estrella para determinar la capacidad de desinfección con ozono sobre microorganismos patógenos, como *Vibrio cholerae* y *Salmonella typhi*. A la par se evaluaron los indicadores biológicos de contaminación, como las bacterias coliformes fecales.

Para evaluar el efecto sobre los cultivos, se hicieron experimentos en un invernadero (véase fig 1) a fin de determinar el efecto del ozono sobre hortalizas que se consumen crudas y la desinfección del agua residual aplicada en el riego. Se instalaron, en un invernadero, nueve surcos de 30 cm de ancho por 250 cm de largo, donde se cultivó lechuga romana. Tres surcos fueron regados con agua residual cruda, otros tres con agua residual tratada con ozono y a los restantes se les aplicó agua potable; estos últimos fueron considerados como referencia, es decir, para comparar el efecto del tipo de agua de riego en el crecimiento de las hortalizas y en el contenido de microorganismos patógenos.

Los análisis de nutrientes como nitrógeno y fósforo se evaluaron tanto en muestras de aguas como de suelo. También se analizaron metales pesados como cadmio, níquel, zinc, plomo, arsénico, cobre y plomo, ya que éstos están controlados en la norma vigente en México NOM-001ECOL 1996 (SEMARNAP, 1996).

Debido a que algunos compuestos del agua residual que no son tóxicos para animales sí pueden serlo para los vegetales, en este estudio se hicieron experimentos con plantas de importancia comercial y rápido crecimiento, como la lechuga romana (*Lactuca sativa*), cuya semilla esta además estandarizada como semilla de prueba.



Fig 1 . Construcción y puesta en marcha de un invernadero

En los experimentos, el mejor resultado fue el de agua tratada con ozono a una dosis de 4.8 mg/l y pH de 7, a temperatura de 23 °C, ya que cumple con los estándares vigentes en México en cuanto a microorganismos y metales pesados. Bajo estas condiciones, se observa un 100 % de destrucción de bacterias tales como *V cholerae*, *S typhi* y coliformes totales y fecales. Se requiere más dosis de ozono para la destrucción de helmintos (parásitos responsables de enfermedades gastrointestinales con lombrices) y *Giardia sp* (parásito responsable de diarreas agudas y crónicas). Esto implica que sí destruye a estos microorganismos pero aún es necesario optimizar las condiciones tecnológicas de aplicación de ozono.

No se encontraron elementos que causen daño a los vegetales, ni metales pesados que pudieran afectar la productividad de las plantas o la salud pública por el consumo de las mismas después de tres meses de riego. En la germinación de la semilla de lechuga *Lactuca sativa*, se observó un incremento de la raíz en 75 % de las muestras analizadas cuando se aplicó agua tratada con ozono, ya que éste favorece la nitrificación y la asimilación de los nutrientes, al aportar oxígeno al suelo. El mejor crecimiento de las lechugas fue en promedio de 38 centímetros, con un peso de 125 gramos. El efecto del ozono en el agua residual ayuda a disminuir la demanda de fertilizantes químicos y proporciona una mejor apariencia de las hojas (véase fig 2).



Fig 2 Apariencia, crecimiento y desarrollo de las lechugas, regadas con agua tratada con ozono