



I-157 - LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN: TECNOLOGÍA APROPIADA O TECNOLOGÍA DE PUNTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES? LA EXPERIENCIA MEXICANA

Gabriela Moeller Ch.⁽¹⁾

Dra. en Ingeniería. Especialista en tratamiento de aguas residuales, reúso y manejo de lodos. Subcoordinadora de tratamiento de aguas residuales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y profesora de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. MEXICO

Violeta Escalante E.

M. en C. Especialista en tratamiento de aguas residuales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y profesora de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. MEXICO

FOTOGRAFIA
NÃO
DISPONÍVEL

Dirección⁽¹⁾: Paseo Cuauhnáhuac, no. 8532 - Col. Progreso - Jiutepec Mor - C.P. 06140 - México - Tel./Fax: +52(73)-194366 - e-mail: gmoeller@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

En este trabajo se discute el papel que juegan las lagunas de estabilización como tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales. Se analizan las bondades de estos sistemas bajo el término de desarrollo sustentable. Se describe el significado de los términos *tecnología de punta* y *tecnología apropiada*. Se presenta la experiencia mexicana en relación con el uso de éstos sistemas, analizando los problemas más frecuentemente encontrados en las lagunas construídas en el país. Se analizan dos escenarios relacionados con la aplicación de esta tecnología, uno pesimista y otro optimista. Se establecen algunas recomendaciones derivadas de los problemas que se han encontrado en los sistemas de este tipo en el país.

PALABRAS-CLAVE: Lagunas de Estabilización, Tecnología Apropiada, Tratamiento de Aguas Residuales, Desarrollo Sustentable.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías adoptadas para el tratamiento de las aguas residuales persiguen los siguientes objetivos: los directamente relacionados con la salud humana y el bienestar de la comunidad, los relativos a lograr la sostenibilidad ambiental y la estética y los que persiguen el reciclamiento o reúso del agua tratada.

Sobre la base del término "desarrollo sostenible" que es aquel *desarrollo entendido como aquel que no degrada el medio ambiente, es económicamente viable, técnicamente apropiado y socialmente aceptado*, se analiza el concepto de tratamiento que puede clasificarse de acuerdo con la complejidad de la tecnología seleccionada, el grado de purificación deseado, el tipo de contaminante o contaminantes a remover o de acuerdo a los métodos básicos utilizados por diversas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.

A la fecha existen una multitud de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, se desarrollan y surgen tecnologías innovadoras con este propósito. Sin embargo, la combinación de procesos unitarios ensayados y probados se prefieren generalmente hasta que las nuevas tecnologías demuestren su madurez, bondades, eficiencia, viabilidad económica y aceptación social. Sin embargo, el término de *sostenibilidad* postula la *compatibilidad* y plantea la *convergencia* entre los objetivos económicos, sociales y ambientales. (Carabias,1999).

OBJETIVO

Analizar dentro del marco de desarrollo sostenible los términos *tecnología apropiada* y *tecnología de punta* aplicados al tratamiento de las aguas residuales y discutir el papel que desempeñan las lagunas de estabilización en este contexto.



Presentar la experiencia mexicana sobre la aplicación de los sistemas lagunares analizando los problemas más frecuentemente encontrados.

Establecer recomendaciones prácticas para la aplicación de esta tecnología y analizar las necesidades futuras de tratamiento y los posibles escenarios para su aplicación.

TECNOLOGÍA DE PUNTA VS. TECNOLOGÍA APROPIADA

El describir a una tecnología como “apropiada” o “sencilla” se asocia a menudo con los países en vías de desarrollo, con una connotación de “menor categoría”, mientras que, el describir una “tecnología avanzada” o de “punta”, se asocia a los países desarrollados y lamentablemente suele tener “cierto encanto”, que las hacen más deseables pese a sí son o no adecuadas para ser adoptadas por países en desarrollo. La experiencia en América latina ha demostrado esto.

Los métodos y tecnologías básicas de tratamiento pueden dividirse en dos grandes grupos: los de tecnología sencilla o apropiada o los de alta tecnología o tecnología sofisticada. Sin embargo, el denominarse sencillos no implica un concepto de baja eficiencia, pero sí, que dichos sistemas de tratamiento tengan consumos bajos de energía y utilicen tecnologías sencillas, tanto en las fases constructivas y operativas además de que utilicen sistemas basados en las transformaciones naturales por ejemplo, las lagunas de estabilización y algunos sistemas de infiltración en suelos o últimamente el uso de sistemas acuáticos y vegetales en los denominados Humedales (Wetlands).

El concepto de “alta tecnología” representa lo opuesto en el sentido de que los sistemas de tratamiento son complicados en sus materiales constructivos, equipos y controles y mayores en sus costos totales. Existen varias clases de conceptos de alta tecnología, basados en esquemas mecánicos y biológicos, esquemas mecánicos y químicos y esquemas mecánicos, biológicos y químicos. Usualmente este tipo de sistemas requieren operadores altamente capacitados, además de que sus gastos de construcción y operación, como ya se mencionó son altos.

"La mejor tecnología técnica y económicamente disponible: **BATEA (Best available technology economically available)** es el concepto de tratamiento que debe de ser adoptado en América Latina. Esto es, un traje hecho a la medida que satisfaga las necesidades específicas en cada caso, para cada sitio y tipo de agua residual.

El significado del término **BATEA** implica para sistemas de tratamiento los siguientes postulados:

- Prevenir las descargas de contaminantes prioritarios al medio ambiente o cuando esto no sea posible, reducir su descarga al mínimo y la transformación de los contaminantes a sustancias inocuas.
- Transformar contaminantes que puedan causar daño al ser descargadas al medio ambiente; por ejemplo los compuestos consumidores de oxígeno que de por sí no son tóxicos.
- Minimizar la contaminación del ambiente como un todo, adoptando "la mejor opción practicable y disponible" en relación con las sustancias descargadas.

LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Las lagunas de estabilización son sistemas naturales de tratamiento para desechos que consisten en estanques abiertos en el terreno, generalmente de forma rectangular y que han sido diseñados específicamente para tratar desechos por medio de procesos naturales a través de tiempos de retención elevados. Las lagunas de estabilización son el método más económico para tratar aguas residuales, en donde los costos de terreno sean relativamente bajos.

Los procesos naturales de purificación que se realizan en éstos sistemas, son por medio de la actividad de bacterias y algas presentes en el agua, descrita en términos de una relación mutualista. El sistema es relativamente simple y no requiere de operadores especializados, en comparación con otros sistemas, pero la calidad del efluente producido es de suficientemente alta calidad para permitir su uso para varios fines, siendo uno de ellos el de reúso en agricultura, lo que los hace ideales para utilizarse en países en vías de



desarrollo. Aún cuando se dice que son procesos simples de operar, esto no implica que los procesos microbiológicos y bioquímicos involucrados sean sencillos, sino todo lo contrario, por lo que es importante comprenderlos para que el proceso pueda ser facilitado y propiciado.

Los tres principales procesos que suceden en una laguna de estabilización son los siguientes (Arthur, 1983):

- Sedimentación primaria
- Biodegradación de compuestos orgánicos (aeróbica o anaeróbicamente)
- Efectos diversos debido al tipo de reservorio (forma, capacidad de dilución y amortiguamiento de cargas pico, tanto orgánicas como hidráulicas).

Las lagunas de estabilización han sido utilizados desde hace más de un siglo, sin embargo, se reporta su uso bajo criterios científicos de diseño a partir de la década de los cuarentas. A partir de los setentas estos sistemas han sido utilizados en más de 38 países de los cinco continentes. En el continente americano han sido utilizadas en Estados Unidos, México, Centro y Sudamérica (4th International Conference on Stabilisation Ponds, Marrakech, 1999).

Muchos tipos diferentes de sistemas lagunares se han diseñado y desarrollado con éxito, ya que conforme avanza la comprensión y conocimiento de los fenómenos que suceden en éstos, se obtienen efluentes de calidad adecuada para satisfacer diferentes propósitos. Estos sistemas son adecuados para el tratamiento de aguas residuales municipales, de desechos industriales, para el tratamiento de lodos o como sistemas para pulimento de efluentes, entre otros.

LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN MÉXICO

La infraestructura existente, reportada hasta diciembre de 1999 para el tratamiento de las aguas residuales municipales a nivel nacional es de mil plantas, con un gasto de diseño de 67,547.38 lps. Sin embargo de este número de plantas existentes funcionan sólo 777, tratando solo 42,396.76 lps. (CNA, 1999). Esta infraestructura trata aproximadamente el 35 % de las aguas residuales que se generan a nivel municipal a través de estas plantas a base de diversas tecnologías, de las cuales, las lagunas de estabilización ocupan un papel preponderante siendo el número de sistemas lagunares de 503 (50.32 %), tratando un caudal de 19,644 l/s distribuidas a través de todo el territorio. De los 503 sistemas construidos se encuentran en operación 410 de ellas, un % elevado requiere rehabilitación además, una gran parte de los sistemas en proyecto o proceso de construcción, también son lagunas de estabilización. De aquí, la importancia de su estudio. La figura 1 muestra la distribución de los tipos de sistemas de tratamiento en México.

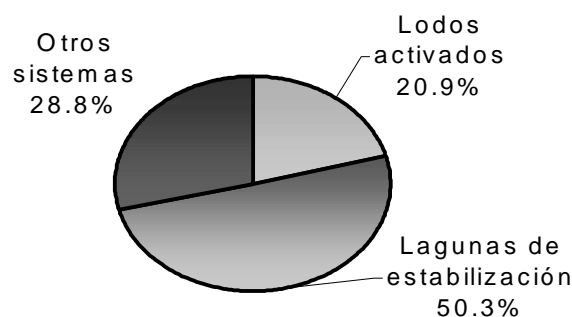


Figura 1. Distribución de los principales sistemas de tratamiento en México. (CNA, 1999).

El inicio del estudio formal de las lagunas de estabilización en México data de 1968, cuando en los cursos a nivel especialidad incluían el estudio del fitoplancton y el establecimiento de criterios de diseño de lagunas experimentales basados en las teorías de Gloyna y Marais. (op cit. Ramos, 1998).



La mayor cantidad de sistemas lagunares se encuentra localizado en los estados de Aguascalientes, Tlaxcala, Durango, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora, , Colima y México. Las lagunas con mayor capacidad de tratamiento se localizan en los estados de Coahuila, Durango, Baja California, Tabasco, Tamaulipas, Guanajuato y Jalisco.

EXPERIENCIAS NACIONALES

Las experiencias y actividades desarrolladas en México durante la última década, en relación con el tema son diversas, y han estado a cargo de varias instituciones tanto del sector público (CNA, IMTA), como educativo (UNAM, Universidades de provincia) y sector privado y abordando en forma importante los diferentes criterios de diseño, diseño físico, aspectos geotécnicos, evaluación, operación y mantenimiento, calidad de efluentes producidos (descarga y reúso), capacitación y entrenamiento así como las actividades de investigación referentes a los procesos físicos, químicos, matemáticos, hidráulicos y bioquímicos que intervienen en el proceso.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, organismo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, ha participado en los últimos diez años con diversas actividades relacionadas con el uso de esta tecnología. Ha organizado y ofrecidos cursos internacionales sobre diseño, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización, ha realizado evaluaciones de los sistemas operando en diversas partes de la República, elaborado manuales de diseño, evaluación y guías prácticas, así como programas para el diseño de lagunas, además ha trabajado en la determinación de las constantes cinéticas regionales para su diseño,. entre otras actividades.(Escalante, 1999; Moeller, 1999).

PROBLEMAS MÁS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS

De los problemas que más comunmente se han encontrado en los sistemas existentes son: Sobrecarga de los sistemas, falta de mantenimiento de las instalaciones, deficiente operación de los sistemas debido a falta de operadores adecuadamente capacitados, falta de presupuesto para las labores de operación y mantenimiento, pocas o nulas actividades de monitoreo de la calidad de los efluentes y sistemas diseñados con criterios inadecuados, sólo para remoción de materia orgánica , así como problemas geotécnicos.

ESCENARIOS PARA LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Al plantear los escenarios posibles para el uso de esta tecnología, apoyándose en la información recopilada y en la experiencia adquirida sobre el tema, y dado que existe una alta convergencia y coincidencia en relación con los problemas identificados en los sistemas existentes, si se plantea un escenario en donde no se resuelvan los problemas existentes y no haya interés por parte de los organismos responsables de su funcionamiento por capacitar personal, destinar presupuesto para la operación, amntenimiento y monitoreo continuo, el escenario será pesimista y derivado de este, se puede llegar al establecimiento de premisas erróneas en donde se concluya que las lagunas son tecnologías obsoletas e inadecuadas para satisfacer las necesidades nacionales para el tratamiento de las aguas residuales en lo que respecta a la selección de esta tecnología y propiciar la toma de decisiones equivocadas de utilizar en muchos casos tecnologías de punta o procesos tecnológicos importados que a la larga causarán mayores problemas que los que aparentemente resuelvan. Por el contrario, abordando el análisis del escenario optimista y una vez resueltos, mediante estrategias coordinadas, los problemas encontrados en estos sistemas, resulta ser que las lagunas de estabilización son una selección adecuada como una tecnología apropiada y sustentable que satisface las necesidades detectadas en términos de tratamiento y reúso para México y muchos otros países con condiciones climáticas, sociales y de idiosincrasia similares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para el cumplimiento de la normatividad (para descarga y/o reúso) se recomienda el diseño de lagunas en serie con un tren de tratamiento que incluya laguna anaerobia, laguna facultativa y lagunas de maduración.



- Los criterios de diseño de lagunas a utilizar deben ser aquellos con los que se logre la remoción de materia orgánica y patógenos.
- Proponer un diseño físico adecuado. (Correcta compactación de taludes e impermeabilización adecuada).
- Disponer adecuadamente las estructuras de entrada y salida en función de la forma de la laguna.
- Realizar una operación y mantenimiento continuo y contar con un presupuesto específico para operación, mantenimiento y monitoreo.

Ya que las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento simples, de bajo costo y adecuadamente diseñados y operados producen efluentes aptos para el reúso, se consideran una *tecnología apropiada* y robusta, acorde con el concepto de desarrollo sustentable. Por este motivo, recomendable no sólo para países en desarrollo, sino para aquellos con un alto nivel de desarrollo, como lo ha demostrado su uso en éstos países.

REFLEXIONES FINALES

El desarrollo sostenible es entendido como el manejo y conservación de la base de los recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional de tal manera que asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Este desarrollo sostenible conserva la tierra, el agua y los recursos naturales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable.

En este contexto, las personas y la capacidad de los ecosistemas para sustentar la vida son el centro. En la esfera del desarrollo ecológicamente sostenible, la existencia de extrema pobreza en el mundo y la degradación y contaminación de los ecosistemas son preocupaciones fundamentales que deben combatirse.

En el caso de la mayoría de las industrias, la producción de aguas residuales, el control y su disposición se ha convertido en un componente integral de la estrategia de producción y costos. Conforme el costo de tratamiento y disposición de desechos aumenta los tratamientos más sofisticados se convierten en viables, pero no deben de olvidarse las metodologías básicas y sencillas, dentro de las cuales, las lagunas de estabilización han sabido probar sus bondades y robustez. El implementar políticas de minimización de generación de aguas residuales, reduce el consumo de agua y reduce los requerimientos de procesos de tratamiento.

La minimización debe de ser la primera consideración en cualquier estrategia de control de contaminación y filosofía de tratamiento.

Los cuatro factores interrelacionados que son necesarios para el desarrollo son: la infraestructura física (abastecimiento y tratamiento de agua, caminos, redes de comunicación, etc.), la infraestructura social (escuelas, hospitales y organizaciones de bienestar), la infraestructura económica, y la infraestructura organizacional.

Todo el ser humano, institución, organización y país que aspire a vivir en armonía con su entorno deberá tener como metas ambientales y ecológicas las siguientes:

- Disminuir e idealmente suprimir la contaminación en la fuente.
- Prevenir la acumulación de sustancias tóxicas no degradables.
- Realizar practicas de reúso de agua y otros materiales.
- Prevenir el transporte de contaminantes.
- Prevenir el agotamiento de recursos naturales.
- Administrar el uso de energía.
- Desarrollar y usar fuentes de energía no contaminantes.
- Minimizar la desertificación de tierras, y
- Prevenir las enfermedades de origen hídrico.



La perspectiva ecológica comienza con una visión de todo y con el entendimiento de cómo las diferentes partes de la naturaleza (incluyendo al ser humano) interactúan entre patrones que tienden hacia el balance y que persisten a través del tiempo. La necesidad de dirigirse hacia un desarrollo sustentable requerirá un cambio en el paradigma general hacia un **enfoque ecológico**, una educación ambiental dinámica acorde con éstos conceptos y un apoyo sostenido de las actividades de investigación tanto básicas como aplicarlas que redunden en las actividades de desarrollo tecnológico y de tipo práctico que requiera la humanidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arthur, J.P. (1983). Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds on Warm Climates of Developing Countries. World Bank Technical Paper Nr 7.
2. Austin, D.C. & Asano. T.(1995). Appropriate Technologies for Agricultural Use of Wastewater. New World Water 1995.Harris, R (De). Sterling Publications Ltd. London.
3. Carabias Lilo, Julia. (1999). La importancia del saneamiento del agua. El caso de México. En Federalismo y Desarrollo. Año 12, No. 65.
4. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Potabilización y Tratamiento (1999). Inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.
5. Escalante V.; Moeller G.; Rivas A. (1999). Pond Evaluation and Upgrading in Mexico. 4th IAWQ Specialist Conference on Waste Stabilisation Ponds: Technology and the Environment. Marrakech
6. Environmental Protection Agency (1992). Guidelines for Water Reuse. Manual EPA/625/R-92/004. Washigton, D.C.
7. Environmental Protection Agency (1992). Wastewater Treatment & Disposal for Small Communities. Manual EPA/625/R-92/004 Washigton, D.C.
8. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1994). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro II, Proyecto, 3a. Sección Potabilización y Tratamiento, Tema: Tratamiento, Subtema: Lagunas de Estabilización en México.
9. Jimenez B., Ramos J. et. al. (1996). Manual de diseño de lagunas de estabilización.Instituto de Ingeniería, UNAM, elaborado para la CNA.
10. Mara, D. & Cairncross S.(1989). Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture. WHO-UNEP. Geneve.
11. Moeller, Ch. Gabriela (1996). Avances en el tratamiento de aguas residuales XX. Congreso Centroamericano y del Caribe de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, San José, Costa Rica.
12. Moeller G.; Escalante V.; Rivas A. (1999). Training, Evaluation and Monitoring of Wastewater Treatment Plants. 4th IAWQ Specialist Conference on Waste Stabilisation Ponds: Technology and the Environment. Marrakech.
13. Organización Mundial de la Salud (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Informe Técnico No.778. OMS. Ginebra, 1989.
14. Ramos Hernández J.G. (1998). Comparación de los requerimientos de área al aplicar los métodos de diseño para lagunas de estabilización. Tesis para obtener el grado de maestra en ingeniería ambiental. DEPMI, UNAM.
15. World Commission on Environment & Development (1987). Our Common Future. Oxford University Press.