

Artículos

El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México*

Municipal wastewater treatment in rural communities in Mexico

Florentina Zurita-Martínez^{1§}, Osvaldo A. Castellanos-Hernández² y Araceli Rodríguez-Sahagún²

¹Laboratorio de Calidad Ambiental. Departamento de Ciencias Tecnológicas. Centro Universitario de la Ciénega. Av. Universidad # 1115. Colonia Lindavista, Ocotlán, Jalisco. C. P. 47820. Tel. 01 392 9259400. Ext. 8346.

[§]Autora para correspondencia: fzurita2001@yahoo.com.

²Laboratorio de Biología Molecular. Departamento de Ciencias Médicas y de la Vida. Centro Universitario de la Ciénega. (ocnoscr@gmail.com), (aracelicrs@gmail.com).


* Recibido: abril de 2011



Aceptado: noviembre de 2011


RESUMEN








Recientemente se han hecho esfuerzos, por incrementar la cobertura de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en México; sin embargo, estos esfuerzos se han enfocado principalmente en las comunidades urbanas. Para el tratamiento de aguas residuales municipales, existen diversas tecnologías que van desde las altamente mecanizadas y costosas, hasta las tecnologías relativamente simples y de bajo costo. El objetivo de este trabajo, es investigar el estado actual del tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales en México, así como discutir cuáles son las barreras y retos que se deben superar, para incrementar la cobertura de plantas de tratamiento. En la mayoría de los estados, se está dejando de atender las pequeñas comunidades rurales de menos de 2 500 habitantes, en especial aquellas 47 233 localidades con 100-2 499 habitantes, en donde es factible instalar plantas de tratamiento. En las zonas rurales se ha dado prioridad a la cobertura de agua potable y los servicios de alcantarillado, lo que ha incrementado el volumen de aguas residuales municipales. Los sistemas de tratamiento que más se emplean en las comunidades rurales, que cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, son las lagunas de estabilización y los humedales


Servicios Personalizados


Revista 


-  SciELO Analytics
-  Google Scholar H5M5 (2017)








Artículo 


-  Español (pdf)
-  Artículo en XML
-  Referencias del artículo
-  Como citar este artículo
-  SciELO Analytics
-  Traducción automática
-  Enviar artículo por email

Indicadores 

Links relacionados 

Compartir 

-      Otros 
-  Otros

 Permalink

artificiales precedidos de sedimentación o fosa séptica. Mientras que las lagunas de estabilización son bastante comunes en México, los humedales artificiales enfrentan algunas barreras, que han evitado su implementación en forma masiva; por el poco conocimiento de esta tecnología y la falta de diseños accesibles a los usuarios directos.

Palabras clave: lagunas de estabilización, humedales artificiales, saneamiento, sistemas naturales de tratamiento.

ABSTRACT

Recently, efforts have been made to increase municipal wastewater treatment plants in Mexico; however, efforts have focused mainly on urban communities. Municipal wastewater can be treated with different technologies ranging from expensive and highly mechanized equipment to relatively simple and low-cost ecological treatment systems. This paper's aim is to research the current status of municipal wastewater treatment in Mexican rural communities, discussing the main barriers and challenges to overcome in order to increase coverage of treatment plants in these communities. In most states, municipal wastewater treatment plants coverage in small rural communities, with less than 2 500 inhabitants have not been taken care of, especially those 47 233 villages with populations ranging from 100 to 2 499 inhabitants, where it is feasible to install treatment plants. In rural areas, the priority has been given to drinking water supply and sewage, increasing the volumes of wastewater collected. The treatment systems that are most commonly used for the small rural communities with municipal wastewater treatment plants are stabilization ponds and constructed wetlands, followed by sedimentation or septic tanks. Stabilization ponds are quite common in Mexico, whereas constructed wetlands have faced dome barriers preventing their implementation on a larger scale. Some of these obstacles are: deficient knowledge about this technology, lack of basic, easily designed manuals for potential users, etc.

Key words: constructed wetlands, natural treatment systems, sanitation, stabilization ponds.

INTRODUCCIÓN

Para tratar las aguas residuales domésticas o municipales, existen diversas tecnologías que varían desde las convencionales altamente mecanizadas, que demandan un gran consumo energético, hasta tecnologías ecológicas de bajo costo. Los sistemas de tratamiento convencionales remueven los contaminantes, mediante procesos que consumen grandes cantidades de energía procedentes de combustibles fósiles, con tiempos de retención hidráulico cortos y requieren cantidades relativamente menores de terreno. Las tecnologías convencionales, son ventajosas para las zonas urbanas o en áreas en donde el costo del terreno representa una parte importante de los gastos de inversión.

En general, estos sistemas de tratamiento tienen elevados costos de construcción, operación y mantenimiento; sin embargo, se han utilizado ampliamente y seguirán utilizándose, para el tratamiento de las aguas residuales municipales en zonas densamente urbanizadas; por lo tanto, algunos aspectos negativos (además de sus altos costos), sobre su uso se hacen cada vez más evidentes.

Las tres consecuencias ambientales comunes a la mayoría de los sistemas convencionales son: a) el consumo de recursos no renovables que se están agotando con el tiempo, lo que limitará su disposición para las áreas de aplicación en las que son realmente insustituibles; b) la degradación ambiental asociada con la extracción y uso de combustibles fósiles, plásticos, concreto y reactivos químicos; y c) el destino de grandes cantidades de subproductos resultantes como el lodo generado (Kadlec y Knight, 1996; Kinwaga *et al.*, 2004). Por otra parte, la mayoría de los sistemas convencionales de tratamiento no reducen el contenido de patógenos en forma significativa (Parr *et al.*, 1999).

En contraste, los sistemas naturales de tratamiento (por ejemplo, los humedales construidos y lagunas de estabilización), requieren una mayor superficie de terreno, pero tienen ventajas importantes como la simplicidad y confiabilidad, bajo costo, poco mantenimiento, bajo consumo de energía de fuentes no renovables y alta eficiencia de remoción de contaminantes (Brix 1999; Kayombo *et al.*, 2005; Arias y Brown, 2009).

Estas características los hacen muy atractivos para los países subdesarrollados, en donde los recursos y personal capacitado para la operación de los sistemas convencionales son escasos (Ayaz y Akca, 2001; Ciria *et al.*, 2005); en particular para las áreas rurales en las que la disposición de terreno no sea una limitante. La mayor superficie requerida representa su principal desventaja frente a los sistemas convencionales de tratamiento, porque hace prohibitivo su implementación en localidades muy pobladas en las que los costos de los terrenos, pueden provocar que sean incluso más costosos que los sistemas convencionales (Ayaz y Aka, 2001).

Actualmente el porcentaje de aguas residuales municipales (ARM), que se trata en los países subdesarrollados apenas ronda 10% (Reynolds, 2002), mientras que en América Latina es ~14% (Silva, 2006) debido principalmente a los altos costos de las plantas de tratamiento (Kivaisi, 2001). En México, solamente se tratan $83.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de los $235.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que se generan; es decir, sólo 35.5% (CONAGUA, 2010). México se sitúa entre los países latinoamericanos, que han extendido su cobertura de tratamiento de aguas residuales domésticas en los

últimos años, al lado de Brasil, Chile, Colombia, Honduras, Nicaragua, Perú y Uruguay (ONU, 2005).

En el periodo 2000-2008 se construyeron numerosas instalaciones de tratamiento, pasando de 1 018 a 2 101 instalaciones. Este incremento se dio principalmente en las comunidades urbanas de más de 15 000 habitantes (CONAGUA, 2010), y fue posible en gran medida por la creación de un programa de la Comisión Nacional del Agua (APAZU, programa de agua potable, alcantarillado y saneamiento en zonas urbanas), establecido para cubrir rezagos y atender demandas de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en localidades mayores a 2 500 habitantes.

Este programa les permite a los municipios tener acceso a financiamientos federales para la construcción de plantas de tratamiento. Para las zonas rurales (localidades con < 2 500 habitantes), existe un programa similar (PROSSAPYS, programa de agua potable y saneamiento en comunidades rurales), cuyo objetivo es en esencia el mismo. Sin embargo, debido a los rezagos existentes en las comunidades rurales en materia de cobertura de agua potable y servicios de alcantarillado, la mayor parte de los recursos captados del PROSSAPYS, al parecer se destinan a estos rubros. El objetivo de este trabajo es analizar y discutir cuál es el escenario actual del tratamiento de las ARM, en las comunidades rurales en cada uno de los estados y cuáles son los retos para incrementar la cobertura de plantas de tratamiento en tales comunidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la preparación de este análisis se utilizó información sobre la evolución en la cobertura de alcantarillado en las comunidades rurales (CR), así como información con respecto al número de localidades rurales por rango de población, existentes en cada uno de los estados y la referente a las localidades rurales, que cuentan con plantas de tratamiento. Los datos analizados y procesados se tomaron de fuentes oficiales como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía (INEGI), a través de sus páginas web. Esta información se complementó y amplió con la información publicada en fuentes académicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cobertura de alcantarillado en las comunidades rurales y generación de aguas residuales

La evolución en la cobertura de alcantarillado para la población rural, se muestra en la [Figura 1](#). Se puede observar que en el 2008, 14.8 millones de personas estaban conectadas al sistema de drenaje. Si consideramos que en promedio una persona gasta al día 250 litros de agua y que 80% se transforma en agua residual (Metcalf y Eddy, 2003), significa que estos habitantes estarían generando $34.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de agua residual doméstica.

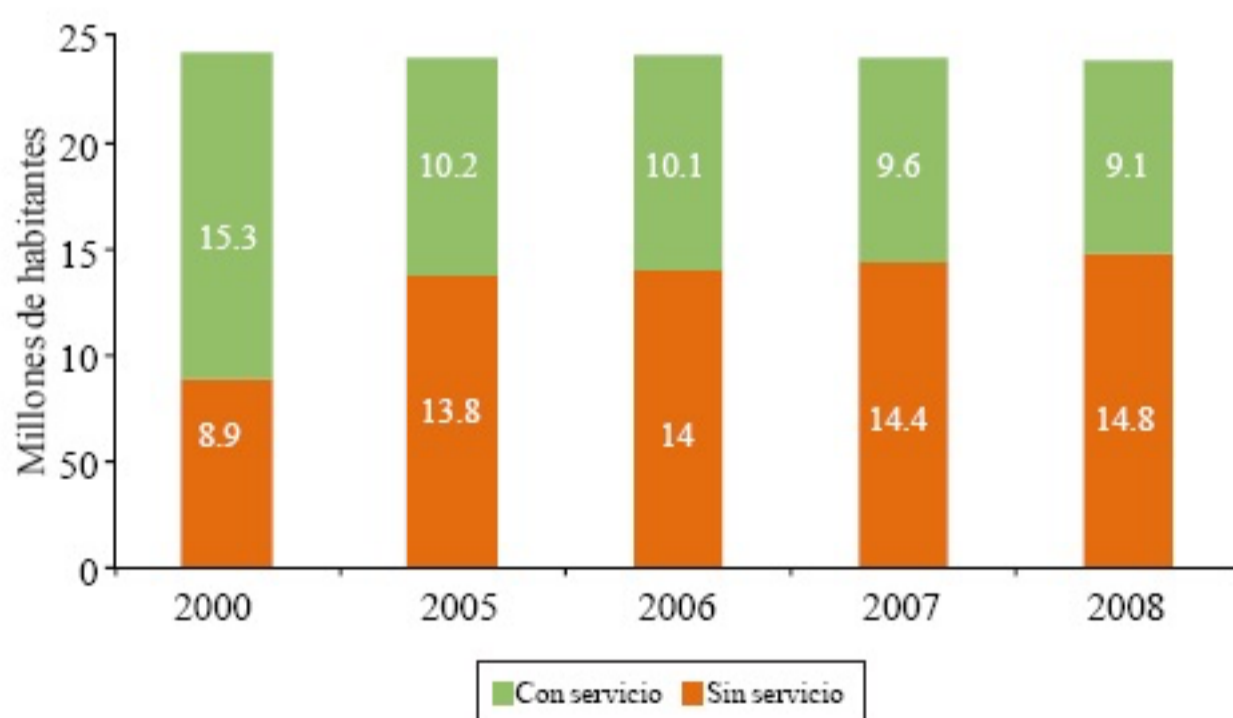


Figura 1. Evolución de la cobertura de alcantarillado en zonas rurales, 2000-2008. Elaboración con datos de CONAGUA (2009b).

Figure 1. Evolution of sewage coverage in rural areas, 2000-2008. Elaboration with data from CONAGUA (2009b).

El incremento en la cobertura de alcantarillado definitivamente se ha privilegiado en las CR, por encima de la instalación de sistemas de tratamiento. En el 2007, sólo el 3.4% del recurso ejercido del PROSSAPYS fue empleado para saneamiento, mientras que 51.5% y 34.6% se destinaron para agua potable y alcantarillado, respectivamente (CONAGUA, 2008). Con estas acciones, en las zonas rurales la cobertura de alcantarillado pasó de 36.7% en 2000 al 61.8% en 2008 (CONAGUA, 2009b).

Esto significa la colección de mayores volúmenes de aguas residuales domésticas, que se están descargando sin tratamiento en ríos y arroyos cercanos o se están utilizando en forma directa en la agricultura; afectando negativamente la salud de los ecosistemas y de las personas. Muchas fuentes de agua para consumo humano se están contaminando. En 2005, las enfermedades intestinales fueron la causa del 9.7% de las muertes de niños (as) menores a 5 años (627 casos) en México (De Anda y Shear, 2008) y muchos de estos casos están relacionados con la contaminación del agua.

Distribución de localidades rurales en el país y sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales

A pesar que la población en México es predominantemente urbana y la tendencia desde hace décadas es hacia una disminución del porcentaje de la población rural, la proporción de la población mexicana distribuida en localidades rurales permanece elevada ([Cuadro 1](#)). Al año 2005, 23.5% de la población; es decir, 24 276 536 personas habitaban en 184 748 localidades rurales (INEGI, 2005). En 47 233 de estas localidades, viven entre 100 y 2 499 habitantes. Los estados con un mayor número de localidades rurales son Veracruz, Chiapas y Oaxaca ([Figura 2](#)). En cada uno de los estados la mayor parte de estas localidades son aquellas con 100 a 499 habitantes.

Es altamente probable que el enfoque de "atender primero a las comunidades más pobladas", aplicado en la construcción de plantas de tratamiento y la cobertura de sistemas de alcantarillado en las zonas rurales. Significa que la cobertura de servicios de alcantarillado puede ser muy limitada en las CR de < 100 habitantes, porque además en tipo de comunidades la población se encuentra muy dispersa. La cobertura debe ser alta en las CR de 500 a 2 499 habitantes que suman 13 819 comunidades. Es en estas comunidades en donde es más factible instalar sistemas de tratamiento.

Los estados con mayor número de localidades en estos rangos de población son Veracruz, Chiapas, Estado de México, Puebla y Oaxaca ([Figura 3](#)). Aunque de acuerdo con la CONAGUA (2008), la cobertura de alcantarillado se ha extendido incluso en zonas de difícil acceso; además, de acuerdo con el Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012, una de las estrategias es continuar incrementando la cobertura de alcantarillado en zonas rurales (CONAGUA, 2009b).

Con respecto a la presencia de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM), en las comunidades rurales (CR), la situación por estado se presenta en la [Figura 4](#). Existen un total de 1 833 comunidades rurales que tienen un sistema de tratamiento, frente a 47 233 localidades con 100 a 2 499 habitantes. Los estados que tienen mayor número de instalaciones son Aguascalientes, Chihuahua, Durango y Sinaloa, que son de mayor cobertura de PTARM en el país. Mientras que en algunos estados como Yucatán y Campeche, la existencia de instalaciones de tratamiento son nulas.

El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México con datos del INEGI (2005).

En general, los sistemas de tratamiento que más se están utilizando en las comunidades rurales, son las lagunas de estabilización y los humedales artificiales precedidos de sedimentación o fosa séptica ([Figura 5](#)). Existen también instalaciones en Sinaloa, que operan mediante un reactor enzimático; los cuales fueron construidos antes de 2000. También se observa la presencia de fosas sépticas o sedimentación, que están proporcionando sólo un tratamiento primario. Sin embargo, la mayor parte de las aguas residuales están recibiendo un nivel secundario de tratamiento con sistemas naturales de tratamiento.

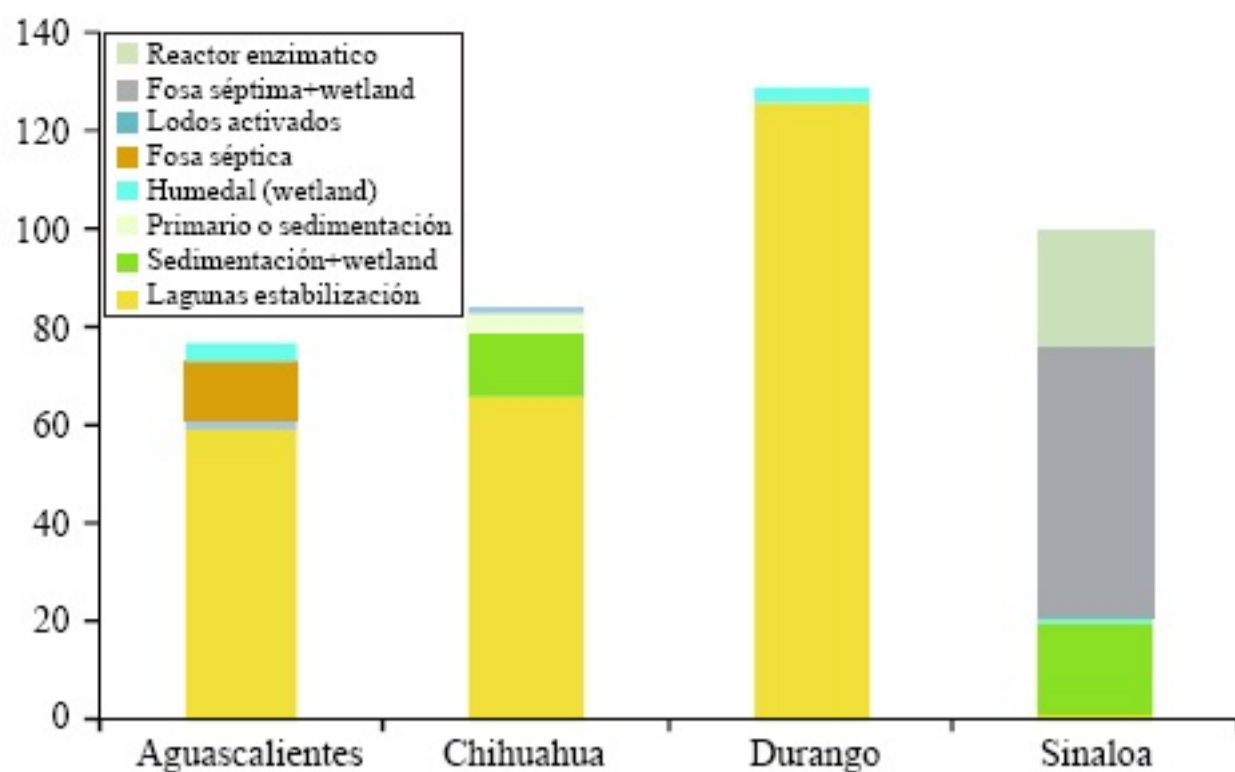


Figura 5. Sistemas utilizados en los estados que existe un mayor número de instalaciones en localidades rurales.

Figure 5. Systems used in states where there are an increased number of facilities in rural locations.

Es interesante encontrar que las lagunas de estabilización son ya bastante comunes en México (se utilizan incluso en localidades más grandes, desde hace décadas), el uso de los humedales artificiales es más reciente. En 2000 no existían PTARM con este sistema; sin embargo, en 2008 ya existía un total de 128 instalaciones (CONAGUA, 2009a). Los estados con mayor número de humedales son Oaxaca y Sinaloa en los que tratan 240.6 L s^{-1} y 174.3 L s^{-1} de agua residual, respectivamente. Su presencia es también importante en el estado de Chihuahua. Es de resaltar que los sistemas de tratamiento que se están utilizando en las CR, son los más recomendables en la mayoría de los casos, luego entonces, el reto es cómo multiplicar el uso de tales sistemas en todo el país.

Retos por vencer

El incremento en el número de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, en las zonas urbanas del país es definitivamente aplaudible, al igual que el incremento en la cobertura de sistemas de alcantarillado, en el país y en particular en las áreas rurales. Sin embargo, se puede avanzar al mismo tiempo, en el saneamiento en las zonas rurales, si se seleccionan tecnologías alternativas o naturales de bajo costo. De acuerdo con la información recabada, las áreas en donde estos sistemas se pueden aplicar son muy numerosas.

La principal desventaja de las lagunas de estabilización y los humedales artificiales, es la gran cantidad de terreno que requieren en comparación con las tecnologías convencionales como el sistema de lodos activados. Sin embargo, esta desventaja puede ser un problema menor en las comunidades de 100 a 2 500 habitantes, e incluso para aquellas entre 2 500 a 5 000 habitantes (1 627 localidades). En los demás estados de la república, se debe imitar la estrategia seguida por los estados que tienen un alto nivel de tratamiento de sus aguas residuales municipales (Aguascalientes, Durango, Sinaloa y Chihuahua), que han utilizado tecnologías convencionales en las grandes ciudades y tecnologías naturales en las localidades más pequeñas. En Aguascalientes se trata 96% de las aguas residuales (INAGUA, 2010), en Sinaloa 91.8% (Pineda, 2010), y en Chihuahua, 72%.

Las lagunas de estabilización y los humedales artificiales, se han recomendado ampliamente por múltiples autores para los países subdesarrollados, por su sencillez de operación y bajo costo (Kivaisi, 2001). Como tecnología de tratamiento de las aguas residuales domésticas, las lagunas de estabilización, representan la tecnología más utilizada en los países subdesarrollados (Kivaisi, 2001; Peña and Mara, 2004). En México se utilizan desde hace muchos años incluso en comunidades urbanas (Calderón, 2007). En contraparte, el uso de los humedales artificiales (HA) en México es aún muy limitado, a pesar que es una tecnología bastante recomendable, principalmente en su versión de tipo subsuperficial.

Los HA tienen algunas ventajas importantes sobre las lagunas de estabilización (LE); algunas de ellas son la minimización de olores, la no proliferación de mosquitos (Kayombo *et al.*, 2005), y el poderse utilizar en el sitio de generación de las aguas residuales, como en las casas individuales o en conjunto. Estas ventajas hacen que sea una tecnología muy apropiada para las comunidades de menos de 100 habitantes, los que no se dispone de sistemas de alcantarillado. Además, en los HA se tiene la oportunidad de plantar especies ornamentales de valor comercial (Zurita *et al.*, 2008), que pueden permitir la recuperación de los gastos de inversión a mediano plazo.

Un análisis de los sistemas de tratamiento que se utilizan actualmente en México, así como de las experiencias

recientes en el uso de humedales, muestra cuáles son algunas de las barreras que han frenado el uso extendido de tales sistemas en México. La principal de ellas, es el poco conocimiento de esta tecnología por parte del sector empresarial mexicano, dedicado al tratamiento de aguas residuales; lo que propicia que en el momento de ofertar sistemas de tratamiento a los municipios, sólo ofrezcan tecnologías convencionales.

Esta barrera se puede subsanar mediante una mayor participación de las instituciones de investigación, como el caso del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), que dirigió la construcción de HA en las localidades de Santa Fe de la Laguna, Quiroga, Cucuchucho Tzintzuntzan, Erongarícuaro, Erongarícuaro en la ribera del Lago de Patzcuaro, involucrando a los pobladores (González y Rivas, 2008).

Otra barrera es la falta de manuales de diseño y operación accesibles a las autoridades locales y usuarios directos. Porque si bien existe información en español en internet, esta información no está disponible tan fácilmente en las comunidades. Una evaluación de los humedales utilizados in situ en la comunidad de Akumal, Quintana Roo; demostró que no están funcionando apropiadamente porque fueron mal construidos, diseñados y manejados por los usuarios (Varma, 2009), quienes no tuvieron a la mano la información y capacitación necesaria.

El estudio de los humedales construidos en localidades rurales y urbanas en el Valle de Oaxaca, arrojó resultados similares. Los sistemas están operando deficientemente como resultado de un mal diseño, operación inadecuada y mantenimiento nulo (Haase, 2010). Estos casos en México, demuestran que esta tecnología se ha sobre simplificado; lo que ha conducido al error de construirlos y abandonarlos, con la idea equivocada de que no requieren supervisión alguna ni mantenimiento. Finalmente, la barrera más fuerte para impulsar esta tecnología, es la falta de integración entre los grupos de investigación en el país, que trabajen con humedales artificiales.

Por lo tanto, el reto para los investigadores del agua es aportar propuestas que permitan incrementar la instalación de sistemas de tratamiento en las comunidades rurales, en particular de los HA. Probablemente, se debe iniciar con la integración de los esfuerzos aislados de diferentes grupos de investigación en todo el país, a través de la conformación de grupos de especialistas que se encarguen de coordinar la elaboración de guías específicas de diseño, operación y mantenimiento, y que sirvan de interlocutores entre las comunidades, los diferentes niveles de gobierno y el sector empresarial involucrado en el tratamiento de aguas residuales.

CONCLUSIONES

La construcción de plantas de tratamiento en las localidades urbanas altamente pobladas, resulta muy costosa por el tipo de tecnología que se requiere para tratar grandes volúmenes en espacios reducidos. Sin embargo, para las pequeñas comunidades rurales de 100-2 500 habitantes, es posible emplear tecnologías naturales de tratamiento, tales como las lagunas de estabilización y los humedales artificiales, que implican bajos costos de construcción, operación y mantenimiento. Las tecnologías de bajo costo, amigables con el ambiente, representan la opción más recomendable para países en vías de desarrollo como México.

Se debe promover a corto plazo, la aplicación en las numerosas CR esparcida en todo lo largo y ancho del país, porque es en estas comunidades pequeñas es más cómoda su implementación. El uso de estas tecnologías en forma masiva, principalmente los HA, cuyo uso es muy limitado, ayudaría a frenar la degradación de los ecosistemas acuáticos y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en México.

La implementación de tales sistemas también permitiría el reúso de las aguas residuales tratadas para la irrigación de los cultivos, con lo que se disminuiría el consumo de agua de primer uso. Los casos observados en el país, demuestran que la implementación de los humedales artificiales debe ser cuidadosa, para no desalentar su uso; para que esto sea posible, es esencial que en el país se conformen grupos de especialistas en sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales, en particular de los humedales artificiales. Especialistas que promuevan el uso de estas tecnologías, que desarrollen otras y que compartan experiencias de éxitos y fracasos, con el objetivo común de acelerar el saneamiento en las comunidades rurales de México.

LITERATURA CITADA

Arias, M. E. and Brown, M. T. 2009. Feasibility of using constructed treatment wetlands for municipal wastewater treatment in the Bogotá Savannah, Columbia. Ecol. Eng. 35:1070-1078. [[Links](#)]

Ayaz, S. C. and Akca, L. 2001. Treatment of wastewater by natural systems. Environ. Int. 26:189-195. [[Links](#)]

Brix, H. 1999. How 'green' are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? Water Sci. Technol. 40:45-50. [[Links](#)]

Ciria, M. P.; Solano, M. L. and Soriano, P. 2005. Role of macrophyte *Thypha latifolia* in a constructed wetland for wastewater treatment and assessment of its potencial as a biomasa fuel. Biosystems Eng. 92(4)535-544.

[[Links](#)]

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008. Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D. F., México. 167 p. [[Links](#)]

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2009a. Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D. F., México. 302 p. [[Links](#)]

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2009b. Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D. F., México. 223 p. [[Links](#)]

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2010. Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D. F., México. 258 p. [[Links](#)]

Calderón, C. G. 2007. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua segunda parte. Identificación de sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales. Comisión Nacional del Agua-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 31. URL: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Sistemas-naturales.pdf>. [[Links](#)]

Kivaisi, A. 2001. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. Ecol. Eng. 16:545-560. [[Links](#)]

De Anda, J. and Shear, H. 2008. Challenges facing municipal wastewater treatment in Mexico. Public Works Management & Policy Sage Publications. 12(4):590-598. [[Links](#)]

González, C. E. y Rivas, A. 2008. Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales generadas en áreas rurales ribereñas al lago de Pátzcuaro. Tlaloc 43, 8-13. URL: http://www.amh.org.mx/tlaloc/TLALOC_41.pdf. [[Links](#)]

Haase, P. H. 2010. Field assesment of wastewater treatment facilities in the Oaxaca Valley, Mexico. Tesis de Maestría. Universidad Estatal de Humbolt. USA. 129 p. [[Links](#)]

Instituto del Agua del Estado (INAGUA). 2010. Logros y acciones. URL: <http://www.aguascalientes.gob.mx/inagua/LogrosyAcciones/LogrosyAcciones.aspx>. [[Links](#)]

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (INEGI) 2005. II Censo de población y vivienda 2005. Tabulados Básicos. Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. [[Links](#)]

Kadlec, R. H. and Knight, R. L. 1996. Treatment Wetlands. Boca Raton, FL. CRC Press, Lewis Publishers. 893 p. [[Links](#)]

Kayombo, S.; Mbwette, T. S. A.; Katima, J. H. Y.; Ladegaard, N. and Jørgensen, S. E. 2005. Waste stabilization ponds and constructed wetlands design manual". United Nations Environment Programme (UNEP)-International Environmental Technology Centre(IETC)- Danish International Development Agency (Danida). URL: http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Water_Sanitation/ponds_and_wetlands/Design_Manual.pdf. [[Links](#)]

Kimwaga, R. J.; Mahauri, D. A.; Mbwette, T. S. A.; Katima, J. H. Y. and Jørgensen, S. E. 2004. Use of coupled dynamic roughing filters and subsurface horizontal flow constructed wetland system as an appropriate technology for upgrading waste stabilisation ponds effluents in Tanzania. Physical Chemical Earth. 29:1243-1251. [[Links](#)]

Metcalf y Eddy. 2003. Wastewater engineering treatment, disposal, and reuse. 4th edition. New York. USA. McGraw-Hill Inc. 1819 p. [[Links](#)]

Organización para las Naciones Unidas (ONU). 2005. Objetivos de desarrollo del Milenio. Una mirada desde América Latina y el Caribe. URL: http://www.oei.es/genero/documentos/internacionales/ODM_AL.pdf. [[Links](#)]

Parr, J.; Smith, M. and Shaw, R. 1999. Wastewater treatment options. Water and Environmental Health at London and Loughborough (WELL). URL: http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/64wastewater_treatment-options.pdf. [[Links](#)]

Peña, M. and Mara, D. 2004. Waste stabilization ponds. IRC International Water and Sanitation Centre. The Netherlands. URL: <http://www.irc.nl/page/14622>. [[Links](#)]

Pineda, J. M. 2010. Logra Sinaloa sus metas en limpieza de aguas residuales. Centro Mexicano de Derecho Ambiental. Nota de Prensa/El sol de Sinaloa. URL: http://www.sintesis.cemda.org.mx/artman2/publish/agua/Logra-Sinaloa-sus-metas-en_limpieza-de-aguas-residuales.php. [[Links](#)]

Reynolds, K. 2002. El tratamiento de las aguas residuales en Latinoamérica. Identificación del problema. URL: <http://www.agualatinoamerica.com/docsPDF/DeLaLaveSepOct02.pdf>. [[Links](#)]

Silva, S. H. 2006. La situación regional del saneamiento en América Latina. Organización Panamericana de la Salud. URL: <http://www.imta.gob.mx/gaceta/anteriores/g23-03-2009/situacion-saneamiento-lac.pdf>. [[Links](#)]

Varma, S. 2009. Environmental studies of constructed wetlands in Akumal, Mexico: new comparisons of geotechnical and botanical parameters. Tesis de maestría. Universidad George Mason. Fairfax, Virginia, USA. URL: <http://u2.gmu.edu:8080/bitstream/1920/5694/1/Varma-Sheela.pdf>. [[Links](#)]

Zurita, F.; De Anda, J. and Belmont, M. A. 2009 Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. Ecol. Eng. 35:861-869. [[Links](#)]



Todo el contenido de esta revista, excepto dónde está identificado, está bajo una [Licencia Creative Commons](#)

Campo Experimental Valle de México, Km13.5, Carretera Los Reyes-Lechería, Colonia Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, MX, 56250, (52-595) 92 12681



revista_atm@yahoo.com.mx