

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. ²Laboratorio de Biología Molecular. Departamento de Ciencias Médicas y de la Vida. Centro Universitario de la Ciénega. (ocnoscr@gmail.com), (araceliors@gmail.com). [§]Autora para correspondencia: fzurita2001@yahoo.com.

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 artificiales

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

* Recibido: abril de 2011

Aceptado: noviembre de 2011

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.

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 and 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).

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.

INTRODUCTION

There are different technologies to treat domestic or municipal wastewater, ranging from highly mechanized conventional equipment, demanding a high energetic input, to ecological low-cost technologies. Conventional treatment systems remove contaminants through costly processes, using important quantities of fossil fuels with a short-time hydraulic retention, requiring smaller-land extensions. The conventional technologies are adequate for urban areas or zones where the land's cost represent an important share of the investment.

Generally, these treatment systems imply high building, operation, and maintenance costs. However, they have been widely and should continue to be used in heavy populated urban areas. Nevertheless, some of their negative aspects, besides their high costs are increasingly evident.

The three common environmental consequences of conventional systems are: a) non-renewable resources' consumption that are being depleted over-time, limiting their use to the areas where they cannot be substituted; b) environmental degradation associated to the extraction and use of fossil fuels, plastic, concrete and chemical reactors; and c) management of associated byproducts such as sludge (Kadlec and Knight, 1996; Kinwaga *et al.*, 2004). Also, most conventional treatment systems do not reduce pathogen contents in a significant way (Parr *et al.*, 1999).

In contrast, natural treatment systems (for example, stabilization ponds and constructed wetlands) need a bigger land surface, but they have important comparative advantages such as simplicity and reliability, low cost, low maintenance, low energy consumption from nonrenewable sources, and high efficiency in contaminant removal (Brix 1999; Kayombo *et al.*, 2005; Arias and Brown, 2009).

These characteristics make them very appealing for underdeveloped countries where resources and trained personnel for conventional systems are scarce (Ayaz and

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

Akca, 2001; Ciria *et al.*, 2005); especially, for rural areas where the land is not a problem. The fact that these systems require greater land extensions is their main disadvantage when compared to conventional treatment systems, as land costs in highly populated areas might make them more expensive than conventional systems (Ayaz and Aka, 2001).

Currently, Currently the municipal wastewater (MWW) percentage in underdeveloped countries is about 10% (Reynolds, 2002); this estimate is ~14% (Silva, 2006) for Latin America, mainly due to the high costs of treatment plants (Kivaisi, 2001). In Mexico, about $83.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ of the $235.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ generated is treated, that is to say, only 35.5% percent (CONAGUA, 2010). Mexico is amongst the Latin American countries that have extended their services of domestic wastewater treatment, together with Brazil, Chile, Colombia, Honduras, Nicaragua, Peru and Uruguay (ONU, 2005).

In the 2000-2008 periods, several treatment facilities were built, going from 1 018 up to 2 101. This increase, took place mainly in urban communities with more than 15 000 inhabitants (CONAGUA, 2010), and it was possible through a special program by the National Water Commission named (APAZU, Potable, Sewage, and Wastewater Treatment Program in Urban Zones), established in order to overcome service delays in localities greater than 2 500 inhabitants.

This program enables municipalities to access federal funds for building treatment plants. For rural areas (localities with less than 2500 inhabitants), there is a similar program with similar goal, called (PROSSAPYS, Potable Water and Sewage Program in Rural Communities). However, given the existing service delays in rural communities in terms of access to drinking water and sewage systems, most PROSSAPYS resources are apparently assigned for these items. The aim of this paper is to analyze and discuss the current scenario of municipal wastewater in rural communities in each state, presenting the main challenges and opportunities to increase treatment plant coverage in such communities.

MATERIALS AND METHODS

For preparing this analysis, information regarding the evolution of sewage coverage in rural communities (RC) was used, as well as the number of rural communities according

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 destina 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.

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,

to the population existing in each state, and looking at the number of communities that have treatment plants. Data analyzed and processed was taken from official sources such as the National Water Commission (CONAGUA), and the National Statistics and Geography Institute (INEGI) via their webpages. This information was cross-checked and complemented with academic sources.

RESULTS AND DISCUSSION

Sewage coverage in rural communities and wastewater generation

The evolution of coverage of sewage services in rural populations is shown in Figure 1. It can be observed that in the year 2008, 14.8 million people were connected to drainage systems. Considering that a person uses an average of 250 liters of water daily, and eighty percent of it becomes wastewater (Metcalf and Eddy, 2003), it means that these inhabitants would be generating $34.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ of domestic wastewater.



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).

Increasing coverage of sewage services has definitively been prioritized and privileged in rural communities over installation of treatment systems. In 2007, only 3.4% of the resources under the PROSSAPYS program were used to sanitation, whereas 51.5% and 34.6% were destined for potable water and sewage, respectively (CONAGUA,

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

Apesar 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.

2008). With this actions, sewage system coverage in rural zones increased from 36.7% in 2000 to 61.8% in 2008 (CONAGUA, 2009b).

This means that greater volumes of domestic wastewaters are collected and being discharged without treatment into nearby rivers and streams or directly for agriculture, negatively affecting the health of the people and the ecosystems. Many water sources for human consumption are being contaminated. In 2005 in Mexico, intestinal diseases caused 9.7% of deaths in children under 5 years old (627 cases) (De Anda and Shear, 2008), and many of this cases are directly linked to water pollution.

Distribution of rural localities in the country and existing municipal wastewater treatment systems

Although, the Mexican population is predominantly urban and the trend for the past decades has been decreasing rates of rural populations, the proportion of the Mexican population distributed in rural localities remains high (Table 1). Up to the year 2005 in Mexico, 23.5% of the population lived in 184 748 rural localities, that is to say 24 276 536 people (INEGI, 2005). In 47 233 of these localities, there are between one hundred and 2 499 inhabitants. The states with greatest number of rural communities are Veracruz, Chiapas, and Oaxaca (Figure 2). In each of these states, the highest portion of these communities has between 100 at 499 inhabitants.

It is quite possible that the approach “attend the most densely populated communities first” currently used for construction of wastewater treatment plants, is also being used for sewage service coverage in rural areas as well. This means that coverage of sewage services must be very limited in rural communities of less than a 100

Cuadro 1. Distribución de la población rural y urbana en México.
Table 1. Distribution of the rural and urban population in Mexico.

Tamaño (habitantes)	(%) de la población	Número de localidades	Número de habitantes
< 2 500	23.5	184 748	24 276 536
500-2 499	13.5	13 819	13 938 122
100-499	7.65	33 414	7 900,437
< 100	2.4	137 515	2 437 977
2 500-15 000	13.7	2 640	14 147 084
>15 000	62.8	550	64 849 408

Elaboración con datos del INEGI (2008).

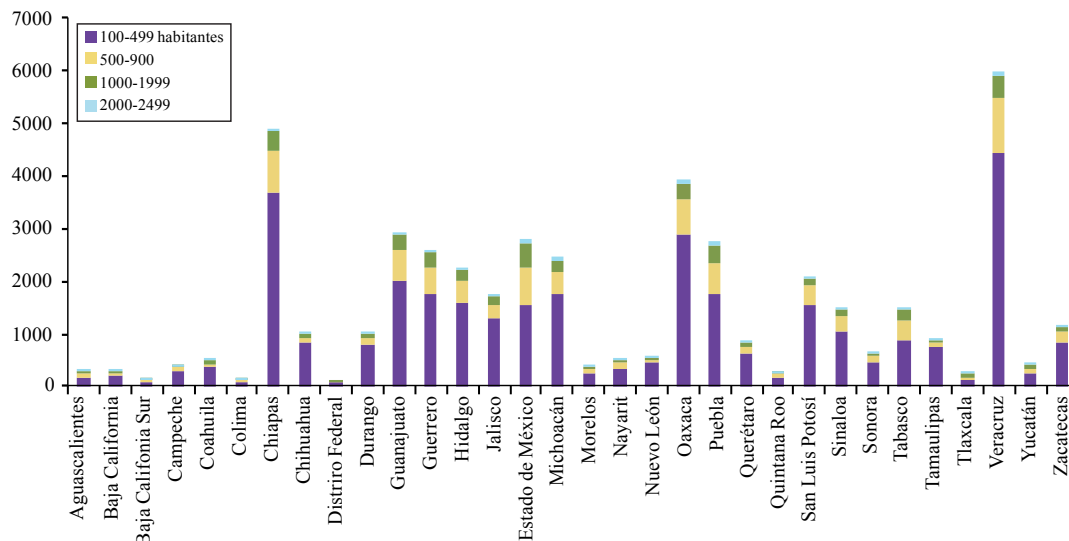


Figura 2. Clasificación de localidades rurales por entidad federativa. Elaboración con datos del INEGI (2005).
Figure 2. Classification of rural localities by state. Elaboration with data from INEGI (2005).

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.

inhabitants, especially as in these types of localities the population tends to be scattered. Coverage must be high in rural communities between 500 to 2 499 inhabitants (a total of 13 819 communities). It is in these communities where it is more viable to install wastewater treatment systems.

The states with most localities with these population types are Veracruz, Chiapas, the State of Mexico, Puebla and Oaxaca (Figure 3). However, according to CONAGUA (2008), sewage service coverage has increased even in areas that are hard to access; besides, according to the National Infrastructure Program 2007-2012, one of the strategies is to continue increasing sewage service coverage in rural areas (CONAGUA, 2009b).

Regarding municipal wastewater treatment plants (MWWTPs) in rural communities, the situation is graphically shown in Figure 4. There are only 1 833 rural communities that have a treatment system, out of the 47 233 localities with a population ranging between 100 to 2 499 inhabitants. The states with most facilities are Aguascalientes, Chihuahua, Durango, and Sinaloa; they have the highest MWWTPs coverage in the country. In some states such as Yucatan and Campeche, these types of treatment facilities are nonexistent.

In general, most commonly used treatment systems in rural communities are stabilization ponds and constructed wetlands, followed by sedimentation or septic tanks (Figure 5). There are also facilities in Sinaloa operating

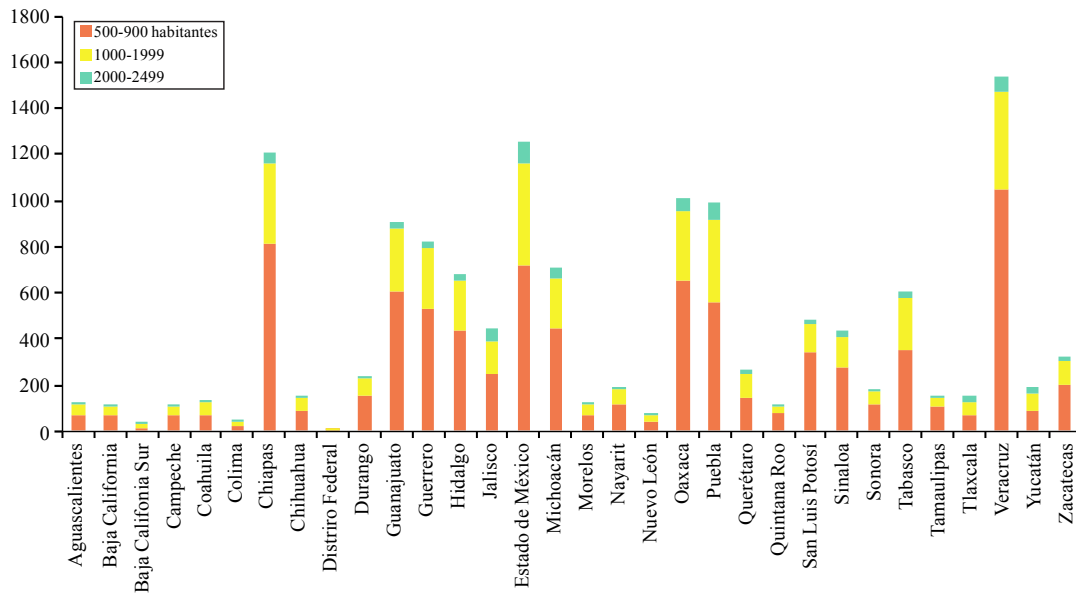


Figura 3. Clasificación de localidades rurales por entidad federativa, excluyendo localidades de 100-499 habitantes. Elaboración con datos del INEGI (2005).

Figure 3. Classification of rural localities by state, excluding communities with 100-499 inhabitants. Elaboration with data from INEGI (2005).

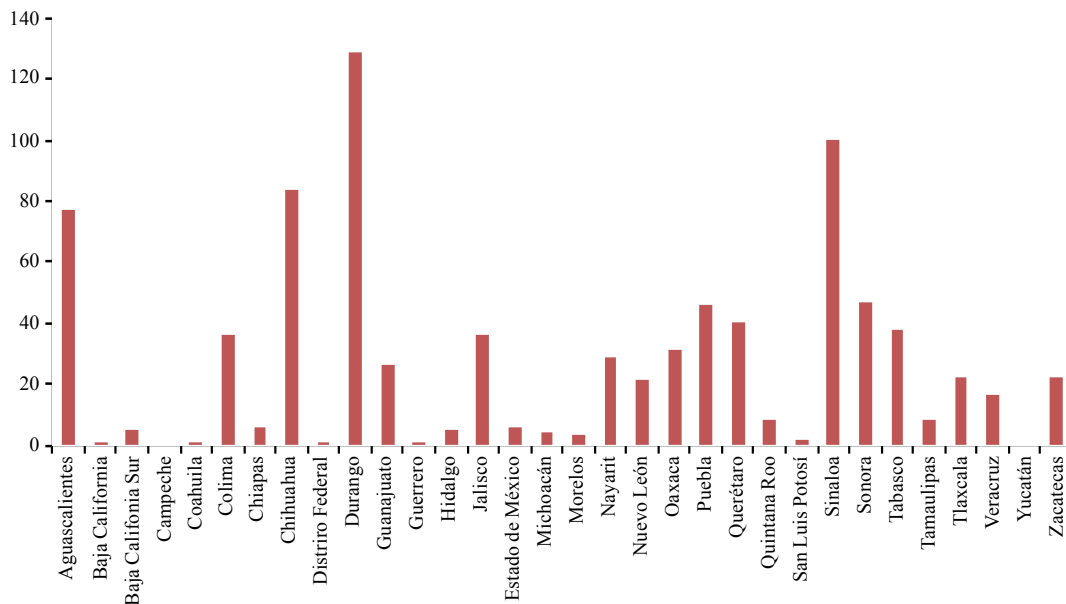


Figura 4. Número de localidades rurales por entidad federativa que cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales. Elaboración con datos de CONAGUA (2009a).

Figure 4. Number of rural localities with wastewater treatment plants by state. Elaboration with data from CONAGUA (2009a).

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

with enzymatic reactors; all of them were built before the year 2000. It is also observed the presence of sedimentation or septic tanks which provide only a primary treatment. However, most wastewaters have a secondary treatment with natural systems.

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.

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%.

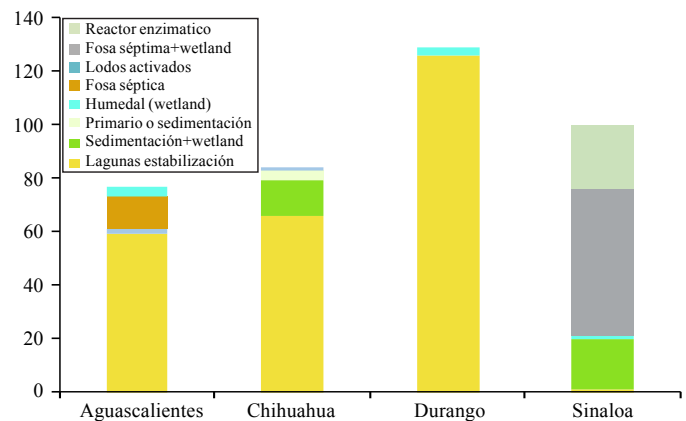


Figura 5. Sistemas utilizados en los estados que existe un mayor número de instalaciones en localidades rurales.

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

It is interesting to find that even if the use of stabilization ponds is very familiar in Mexico (it has been used in bigger localities for decades already), the use of constructed wetlands is more recent. In the year 2000 there were no municipal wastewater treatment plants using this system; however, for the year 2008, there were 128 (CONAGUA, 2009a). The states with most constructed wetlands are Oaxaca and Sinaloa, where 240.6 L s^{-1} and 174.3 L s^{-1} of wastewaters are treated, respectively. Their presence is also important in the state of Chihuahua. It's noteworthy, that the treatment systems that are currently being used in rural communities are the most recommendable in most of the cases, thus the challenge is to making such systems available in other areas of the country as well.

Future challenges

The increase in the number of municipal wastewater treatment plants in urban areas in Mexico is quite impressive, as well as the increase in sewage service coverage in the country as a whole and in rural areas in particular. However, there could be significant advances in terms of sanitation in rural areas, if alternative or low cost natural alternatives were selected. According to the information gathered in this study, the areas where these systems could be implemented are numerous.

The main disadvantage of stabilization ponds and constructed wetlands is the large extension of land needed, compared to the conventional technologies such as activated sludge systems. However, this disadvantage is a minor problem in

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, Cucuchuco 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. Por que si bien existe información en español en internet,

communities of populations ranging from one hundred up to 2 499 inhabitants, and even for those between 2 500 and five thousand inhabitants (1 627 localities). In the other states, the strategy followed by the states that have the highest level of municipal wastewater treatment should be imitated (Aguascalientes, Durango, Sinaloa, and Chihuahua), where conventional technologies have been used in bigger cities and natural technologies have been implemented in smaller communities. In Aguascalientes, 96% of wastewaters are treated (INAGUA, 2010), in Sinaloa 91.8% (Pineda, 2010), and in Chihuahua 72%.

Stabilization ponds and constructed wetlands have been widely recommended by multiple specialists for underdeveloped countries, as they are user-friendly and involve low operation costs (Kivaisi, 2001). As domestic wastewater treatment technologies, stabilization ponds represent the most widely used option in underdeveloped countries (Kivaisi, 2001; Peña and Mara, 2004). In Mexico, they have been used for decades, even in urban areas (Calderón, 2007). Instead, the use of constructed wetlands in Mexico is very limited, despite being the most suitable technology, especially in its sub-superficial version. Constructed wetlands have important advantages when compared to stabilization ponds.

Some of them are the minimization of odors; the lack of proliferation of mosquitoes (Kayombo *et al.*, 2005); and being able to use them on site, where wastewater is generated, for example in individual homes or household clusters. These advantages make it a suitable technology for communities of less than one hundred inhabitants, where sewage services are not available. Besides, in constructed wetlands it is possible to plant ornamental plants of commercial value (Zurita *et al.*, 2008), allowing the mid-term recovery of investment costs.

An analysis of wastewater treatment systems currently utilized in Mexico, as well as recent experiences using wetlands shows some of the barriers that have prevented their widespread adoption. The main one is the lack of knowledge of this technology by the Mexican business sector dedicated to wastewater treatment; this means that usually only conventional systems are offered to municipalities seeking treatment options.

This impediment can be overcome with a greater participation of research institutions and experts, for example the Mexican Institute of Water Technology

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.

(IMTA), which directed the construction of wetlands in the localities of Santa Fe de la Laguna in Quiroga; Cucuchucho in Tzintzuntzan; and Erongarícuaro in the shore of Lake Patzcuaro involving the local population (González and Rivas, 2008).

Another barrier is the lack of basic and detailed design manuals for potential users, including local authorities and direct users, considering that even if there is some information online in Spanish, it is not easily accessible in rural communities. An evaluation of *in situ* wetlands in the community of Akumal, Quintana Roo, demonstrated that they are not working properly as they were poorly designed, built and managed by users who had no information or training at hand (Varma, 2009).

A study of wetlands constructed in rural and urban localities in the Valley of Oaxaca presented similar findings. Systems are operating deficiently as a result of poor design, inadequate operation and lack of management (Haase, 2010). These case studies from Mexico show that technologies have been oversimplified, leading to errors in the process of building and abandoning them, with the idea that they require no supervision or management at all. Lastly, and possibly the most important barrier for this technology, is the lack of integration amongst research groups specializing on constructed wetlands.

Thus, the challenge for water researchers is to make proposals that lead to an increase of wastewater treatment systems in rural communities, especially of constructed wetlands. Possibly, it would be useful to start by integrating isolated efforts of different research groups across the country, through the establishment of specialized groups to coordinate the elaboration of specific guides of design, operation and management, at the same time as serving as spokesperson and bridge between the communities, the different levels of government and the Mexican business sector involved in wastewater treatment.

CONCLUSIONS

The construction of treatment plants in densely populated urban localities is very costly due to the types of technology that are required, involving the treatment of large volumes of water in reduced spaces. However, for small rural communities with populations ranging between one hundred and two

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.
- Ayaz, S. C. and Akca, L. 2001. Treatment of wastewater by natural systems. *Environ. Int.* 26:189-195.
- Brix, H. 1999. How 'green' are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? *Water Sci. Technol.* 40:45-50.
- 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.
- 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.
- 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.
- and a half thousand inhabitants, it is possible to employ natural treatment technologies such as stabilization ponds and constructed wetlands implying low building, operation and management costs. Low cost and environmentally friendly technologies are the most recommendable option for developing countries such as Mexico.
- In the short term, their use should be promoted in numerous rural communities scattered across the national territory, as they are most easily implemented there. The massive use of these technologies, particularly constructed wetlands that are currently underutilized, would help to stop degradation of aquatic ecosystems and pollution of surface and underground waters in Mexico.
- The implementation of such systems would also enable to reusing treated wastewaters for crop irrigation, balancing the current first-hand water demand. The cases observed in Mexico show, that the implementation of constructed wetlands must be carefully performed, in order to not discourage their use. It is imperative not to repeat the mistakes of inadequate designing and lack of maintenance and management. In order to make this possible, it is essential to form groups of experts in natural wastewater treatment systems, particularly about constructed wetlands. Specialists that will promote the use of these technologies, develop others, and share success and failure experiences with the common objective of promoting sanitation in Mexican rural communities.

End of the English version



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

- Kivaisi, A. 2001. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecol. Eng.* 16:545-560.
- De Anda, J. and Shear, H. 2008. Challenges facing municipal wastewater treatment in Mexico. *Public Works Management & Policy Sage Publications.* 12(4):590-598.
- 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. *Tlálloc* 43, 8-13. URL: http://www.amh.org.mx/tlaloc/TLALOC_41.pdf.
- 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.
- Instituto del Agua del Estado (INAGUA). 2010. Logros y acciones. URL: <http://www.aguascalientes.gob.mx/inagua/LogrosyAcciones/LogrosyAcciones.aspx>.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (INEGI) 2005. II Censo de población y vivienda 2005. Tabulados Básicos. Estados Unidos Mexicanos. Tomo I.
- Kadlec, R. H. and Knight, R. L. 1996. *Treatment Wetlands.* Boca Raton, FL. CRC Press, Lewis Publishers. 893 p.
- 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.
- 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.
- Metcalf y Eddy. 2003. *Wastewater engineering treatment, disposal, and reuse.* 4th edition. New York. USA. McGraw-Hill Inc. 1819 p.
- 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.
- 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/64_wastewater_treatment_options.pdf.
- Peña, M. and Mara, D. 2004. *Waste stabilization ponds.* IRC International Water and Sanitation Centre. The Netherlands. URL: <http://www.irc.nl/page/14622>.
- 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.
- Reynolds, K. 2002. El tratamiento de las aguas residuales en Latinoamérica. Identificación del problema. URL: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/DeLaLaveSepOct02.pdf>.
- Silva, S. H. 2006. La situación regional del saneamiento en América Latina. Organización Panamericana de la Salud. URL: <http://www.imta.gob.mx/gaceta/antiores/g23-03-2009/situacion-saneamiento-lac.pdf>.
- 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.
- 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.