

## **Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México**

**Aldo Antonio Castañeda Villanueva**  
acastaneda@cualtos.udg.mx  
Centro de Universitario de los Altos, Universidad de  
Guadalajara, México

**Hugo Ernesto Flores López**  
floresh@colpos.mx  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas  
y Pecuarias (INIFAP), México

Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad, "innovación y difusión de la tecnología". Año 3, núm. 5, septiembre 2013-febrero 2014.

Recibido: 20-08-2013

Aceptado para su publicación: 09-09-2013

Aldo Antonio Castañeda Villanueva, licenciado en Ingeniería química, maestro en Desarrollo sustentable; doctorante en Estudios Regionales. Profesor e investigador en el CUALtos-UdG. Miembro del Sistema Estatal de Investigadores del Estado de Jalisco, participante en la Red de Investigadores Sociales del Agua (red ISSA) y del organismo público descentralizado "ASTEPA". Tel/Fax. (378) 7828035. E-mail: aldocasta@hotmail.com

Hugo Ernesto Flores López, ingeniero agrónomo por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, maestro y doctor en Ciencia por El Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Investigador del INIFAP, profesor del CUALtos-UdG. Miembro del SNI nivel I. Miembros del Cuerpo Académico "Calidad del Agua" y de la Red Temática del Agua de CONACyT-UNAM (RETAC). Tel. (378) 7824638

# Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México

Aldo Antonio Castañeda Villanueva  
Hugo Ernesto Flores López

## Resumen

En la cuestión del saneamiento de aguas residuales, México ha tenido principalmente: déficit de infraestructura, altos costos de instalación, operación y mantenimiento, así como falta de personal capacitado, de tal modo que sólo el 40.2% de las aguas residuales generadas reciben algún tipo de tratamiento. Por esto es necesario desarrollar tecnologías alternas, a costos accesibles, para el tratamiento de aguas residuales domésticas, con eficiencia en la eliminación de contaminantes a bajo costo de instalación y mantenimiento. En este trabajo se evalúan tres tipos diferentes de plantas típicas de los humedales naturales en la región de Los Altos de Jalisco como lo son: el carrizo común (*Phragmites australis*), el gladiolo (*Gladiolus spp*) y la totora (*Typha latifolia*), mediante la medición de parámetros de calidad de agua contenidos en las normas oficiales mexicanas (NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997), como el potencial de hidrógeno (pH), la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, el nitrógeno total, el fósforo total y las grasas y aceites, en unidades experimentales con tiempos de retención de tres, cinco y siete días realizando cuatro evaluaciones en un año. Los resultados mostraron reducciones significativas en todos los parámetros estudiados, de tal forma que las plantas evaluadas pueden ser una alternativa sustentable para la remoción de carga orgánica y nutrientes presentes en aguas residuales domésticas con bajo costo de instalación, operación y mantenimiento.

## Palabras clave

Saneamiento, Efluentes domésticos.

## Abstract

Regarding wastewater treatment, Mexico has been mainly, lack of infrastructure, high costs of installation, operation and maintenance as well as lack of trained personnel. As a result only 40.2% of the wastewater generated receive any treatment, it is necessary to develop alternative technologies at affordable costs for the treatment of domestic wastewater. The use of some types of specimens of macrophytes is a treatment option due to its high pollutant removal efficiency and low cost of installation and maintenance. This paper evaluates three different types of plants typical of natural wetlands in the region of the Highlands of Jalisco as are the common reed (*Phragmites australis*), gladiolus (*Gladiolus spp*) and cattail (*Typha latifolia*), by measuring water quality parameters contained in the mexican official standards (NOM-001-SEMARNAT-1996 and NOM-003-SEMARNAT-1997), like the potential of hydrogen (pH), biochemical oxygen demand in five days, total nitrogen, total phosphorus and fats and oils, in experimental units with retention times of three, five and seven days performing four evaluations in a year. The results showed significant reductions in all parameters studied so that the plants evaluated can be a sustainable alternative for removal of organic load and nutrients in domestic wastewater with a low cost of installation, operation and maintenance

## Keywords

Debugging, Sewage.

## Introducción

El agua es uno de los elementos naturales fundamentales que junto con el aire, la tierra y la energía. Constituyen los cuatro recursos básicos donde se apoya la vida en cualquiera de sus formas, sin embargo la importancia de la calidad del agua, ha tenido un lento desarrollo, sólo hasta finales del siglo XIX se le reconoció como origen de numerosas enfermedades infecciosas, hoy en día su importancia, está fuera de toda duda (Oswald, 2011). Constituye uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza y cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie terrestre, en contra de lo que pudiera parecer, diversos factores limitan su disponibilidad para el uso humano; más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas, por lo que su utilización es limitada, del 3% restante más del 2% se encuentra en estado sólido, como hielo resultando prácticamente inaccesible. En términos

generales sólo el 0.62% de toda el agua en el planeta es apta para el hombre y sus actividades domésticas, agrícolas e industriales, este volumen de agua se encuentra en lagos, ríos y acuíferos subterráneos. La cantidad de agua disponible es ciertamente escasa, mayor problema es aun su distribución irregular en el planeta, por otro lado, el uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extrae y donde se utilizan; el caso del agua es uno de los ejemplos más claros y contundentes: un mayor suministro de agua significa una mayor generación de aguas residuales, si se entiende por desarrollo sustentable aquél que permita compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas, entonces se debe propiciar el balance entre la explotación, el tratamiento y el restablecimiento de todos los recursos naturales, incluyendo el agua en todas sus formas y presentaciones (Esponda, 2001).

A la mayoría de nosotros nos parece natural tener acceso al agua potable, la usamos para todo, la dejamos correr, siempre estuvo ahí y siempre estará, como el aire que respiramos y también así de imprescindible, sin embargo en tan sólo dos décadas se ha duplicado el consumo de agua en nuestro planeta, hoy más de 1,500 millones de personas en el mundo no pueden gozar de este privilegio, se afirma que para el año 2025 la demanda de agua potable será el 56% mayor al suministro disponible (ONU, 2005).

En México, tanto por sus procesos productivos como por su crecimiento demográfico, se cuenta con recursos cada vez más limitados por persona, esta disponibilidad restringida obedece en parte a la ubicación geocológica de las poblaciones, ya que el 58% del territorio nacional se ubica en ecosistemas semisecos, semiáridos o hiperáridos (desiertos) que no alcanzan el promedio nacional de precipitación anual (775 mm), en estas tierras secas es donde se encuentran los principales distritos de riego donde se produce el 70% del producto interno bruto del sector agroalimentario y donde se riega el 92% de las tierras agrícolas con eficiencias globales del 40%, con este panorama la agricultura es la principal consumidora de las reservas de agua del país con el 78%, seguido por el consumo doméstico con el 12% y el uso industrial con 10% (CONAGUA, 2008/2009).

Se denominan aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial, otras denominaciones son: aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales, en general por haber sido utilizadas en procesos de transformación y/o limpieza, estas aguas constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo, en muchas ocasiones están formadas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces las aguas de lluvia y las infiltraciones del terreno, estas aguas residuales presentan composiciones muy variadas y son generadas principalmente por las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Kadlec y Knight, 1996).

El agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas (Rodríguez, *et.al.*, 2006). En nuestro país para cuantificar el grado de contaminación y poder establecer el sistema de tratamiento más adecuado, se utilizan varios paráme-

tros expresados en la normatividad oficial vigente, contenidas principalmente en las normas oficiales mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-004-SEMARNAT-2002.

En México el 58% de las aguas residuales generadas son colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipales, estimándose en más de 208 metros cúbicos por segundo, de los cuales sólo el 40.2% (83.6 m<sup>3</sup>/s) reciben algún tipo de tratamiento, adicionalmente se generan 190 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales de uso no municipal incluyendo a la industria, de las cuales únicamente se tratan 33.7 m<sup>3</sup>/s (17.7%).

En el estado de Jalisco la situación es aún más crítica, ya que sólo se tratan 3,493.5 litros por segundo de un total generado mayor a los 14,144 litros por segundo, es decir el 24.7% (CONAGUA, 2010). La zona de Los Altos ocupa el 16% del área total del estado de Jalisco, forma parte de la cuenca llamada Lerma-Chápala-Santiago, el agua que escurre por todo el territorio pasa a formar parte, del río Lerma o del río Santiago; en temporal, descargan en el cauce del río Verde, el cual conforma un eje hidrológico.

La precipitación pluvial anual promedio en el estado es de 800 mm, siendo sensiblemente menor en las regiones de Los Altos y del Norte, lo que provoca un reducido potencial hidrológico en estas zonas, que consecuentemente afecta su desarrollo, sin embargo, Los Altos es una de las regiones ganaderas más importante de México, por la elevada producción de leche, huevo, carne de res y pollo. Esta zona genera más del 17.2 % de la producción nacional, por otro lado enfrenta graves problemas ambientales provocados por la elevada concentración de ganado, repercutiendo en la baja calidad del agua en cuerpos de agua superficiales, contaminación microbiológica y eutrofización, complementada por la contaminación originada por descargas de aguas residuales sin tratar de origen: industrial, doméstico, comercial, agropecuario y de retorno agrícola (CEA Jalisco, 2010).

Por lo general en el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

1. Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos conlleva un proceso de preaireación;
2. Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado;
3. Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físicoquímicos (floculación) para reducir la mayor parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO); y
4. Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a

la reducción final de la DBO; metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

El tratamiento natural de las aguas residuales utiliza procesos biológicos, en particular cierto tipo de plantas presentes en humedales naturales que favorecen el crecimiento de microorganismos en su red reticular y sustrato, que contribuye a la remoción de contaminantes, los cuales son también formas de nutrientes esenciales para las mismas plantas y que son fácilmente absorbidos tales como; nitrato, amonio y fosfato, muchas especies de estas plantas son capaces de captar, e incluso acumular significativamente metales pesados, como cadmio y plomo (Romero, *et. al.*, 2009).

La velocidad de remoción de contaminantes por las plantas varía extensamente, dependiendo de la velocidad de crecimiento de la planta y de la concentración del contaminante en el tejido de la planta; las leñosas, es decir, árboles y arbustos, proporcionan un almacenamiento a largo plazo de contaminantes, comparado con las plantas herbáceas (Córdova, *et.al.*, 2009).

Sin embargo, la velocidad de captación de contaminante por unidad de área de tierra es a menudo, mucho más alta para las plantas herbáceas tales como los carrizos comunes y las totoras de estanques (macrófitas).

Las algas pueden también proporcionar una cantidad significativa de nutrientes captados, pero son más susceptibles a los efectos tóxicos de metales pesados, "el almacenaje de nutrientes en algas es relativamente de corto plazo, debido al rápido ciclo de rotación de las algas (corto periodo de vida). Las bacterias y otros microorganismos en el suelo también proveen, captan y almacenan nutrientes y otros contaminantes del agua a corto plazo" (Llagas y Guadalupe, 2006).

En muchos lugares del mundo, se han empleado humedales artificiales mediante macrófitas palustres con éxito, como una alternativa ecológica para la remoción de nutrientes de aguas eutrofizadas (Jian y Xinyuan, 1998), "esta constituye una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable ya que requiere poca especialización del personal para su manejo, posee bajo costo de mantenimiento, crea nuevos hábitats para la vida silvestre y protege de manera indirecta la salud e intereses de la población" (López, *et.al.*, 2005).

Particularmente las plantas macrófitas son un tipo de vegetación acuática que se encuentran adheridas a los

fondos de estanques y cuerpos de aguas, presenta la yema de renuevo bajo tierra, resisten la sequía veraniega dejando secar la parte que está por encima del suelo y sobrevive con su órgano subterráneo de almacenamiento (bulbo, cormo, rizoma o tubérculo), estas plantas sirven para depurar el agua mediante bacterias microbianas que se ubican en sus raíces, sedimentan los contaminantes y materia orgánica depurándola de forma totalmente ecológica y natural, además de utilizarse como sistemas para depurar el agua tienen otras posibilidades de aprovechamiento como alimento del ganado, de peces y otros animales acuáticos o bien como fertilizante para suelos y cultivos (Dallas, 2005), también tienen uso medicinal, en cosmetología, la producción de celulosa o, incluso, como fuente de producción de biogás (Hammer y Bastian, 1989). La reducción del DBO5 en función del tiempo de retención y a temperaturas mayores de 20°C con este tipo de plantas regularmente es del 70% en cinco días de tiempo de retención (Brix y Arias, 2005).

Por otra parte diversos autores entre otros Fenoglio (2000) compara la capacidad de retención de materiales orgánicos, medidos como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), de dos materiales utilizados como sustratos para las plantas geófitos en humedales artificiales como: el tezontle y la grava, en ambos casos se observó una eficiencia de retención superior a 90 % a los 20 días de estar en contacto con el agua residual (Madigan, *et.al.*, 2004), pero el tezontle es ligeramente más eficiente que la grava, el mismo autor menciona que el verdadero efecto de remoción de la materia orgánica tiene lugar una vez que los microorganismos se encuentran depositados sobre el material de soporte. También es sabido que el tezontle tiene una amplia superficie de contacto, así los microorganismos se asocian en mayor medida a este material y tienen mayor actividad para la degradación de la materia orgánica que se encuentra en el agua residual, en consecuencia el sustrato es el soporte para las plantas macrófitas, además sirve como un medio de fijación para los microorganismos y funciona como conductor hidráulico (Faulkner y Richardson, 1989).

Los microorganismos son la parte fundamental del funcionamiento de los humedales, ya que de ellos depende la eficiencia en la remoción de los contaminantes: contribuyen a la degradación de la materia orgánica y a la transformación de compuestos nitrogenados y de fósforo contenidos en las aguas residuales, a compuestos más simples (Romero, *et.al.*, 2009), las diferentes especies de plantas acuáticas que se utilicen son importantes, debido a

## En muchos lugares del mundo, se han empleado humedales artificiales mediante macrófitas palustres con éxito, como una alternativa ecológica para la remoción de nutrientes de aguas eutrofizadas

que difieren en su capacidad de depuración del agua residual, en la remoción de nutrimentos específicos, de elementos traza y de compuestos potencialmente tóxicos como los metales pesados (Gopal, 1999).

“En la actualidad en humedales artificiales para tratamiento de aguas se ha utilizado con éxito principalmente la especie *Phragmites australis*, comúnmente llamada carrizo o caña de río” (Quipuzco, 2002). De igual forma en varios estados de la República como; Michoacán, Nayarit, Colima, Chihuahua, estado de México, Hidalgo, Oaxaca, Tamaulipas, Tlaxcala y el Distrito Federal se han instalados sistemas naturales basados en estos tipos de plantas para el tratamiento de aguas residuales (CNA, 2007).

### Desarrollo

El objetivo es el de cuantificar la eficiencia en la remoción de la carga orgánica (DBO), nitrógeno total, fósforo total y grasas y aceites, verificándose el comportamiento del pH, en aguas residuales domésticas, se diseñó un sistema piloto de pruebas con tres especímenes de plantas macrófitas típicas en humedales naturales de Los Altos de Jalisco (Castañeda, 2008). El agua cruda (contaminada) utilizada provino de la entrada al sedimentador primario (después del desarenador) de la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de la población de Tepatitlán de Morelos Jalisco, realizando cuatro evaluaciones en un año.

### Diseño del experimento

Las unidades experimentales (UE) fueron recipientes cilíndricos de plástico (cubetas de polietileno de alta densidad) en los cuales se colocaron los especímenes de prueba previamente aclimatados por un periodo de cuatro meses, las dimensiones de cada UE fueron: Diámetro interior: 28 cm, longitud: 35 cm, volumen efectivo: 21.5 litros.

Las UE se colocaron dentro de un invernadero, realizando una corrida de prueba con las tres especies de plantas con dos repeticiones, para un total de nueve UE. Las tomas de muestras se realizaron a los cero,

tres, cinco y siete días de tiempo de contacto con los especímenes de prueba en cada UE, para así evaluar la eficiencia de depuración de cada especie.

Los especímenes de macrófitas que se probaron fueron de los géneros: *Phragmites australis* (carrizo común), *Gladiolus spp* (gladiolo) y *Typha latifolia* (totora), previamente seleccionadas y homogenizadas para las condiciones del experimento, se estableció un volumen equivalente de biomasa entre las tres especies de prueba de tres plantas por UE, con alturas promedio de un metro en todas las especies. Al arranque del experimento (día cero) se agregaron 15 litros de agua cruda a cada UE, manteniendo las condiciones experimentales uniformes para todas las UE y durante todo el periodo de tiempo que permanecieron los especímenes de prueba en cada época del año.

### Desarrollo de proyecto:

Las corridas de prueba se iniciaron por primera vez, en diciembre del 2010 con una temperatura promedio de 17°C, repitiéndose en abril del 2011 (temperatura promedio de 26.3°C), julio del 2011 (temperatura promedio de 24.3°C) y la última noviembre del 2011 (temperatura promedio de 19.4°C). En cada ocasión se obtuvo el agua residual de prueba de la PTAR, tomando la muestra correspondiente inicial de cada corrida (agua cruda, día cero), posteriormente se colocaron en contacto directo el agua cruda y los especímenes de prueba en cada una de las UE, extrayendo muestras de agua, exactamente, a los tres, cinco y siete días de contacto, determinando en cada caso los siguientes parámetros: pH de campo y pH de laboratorio, DBO5, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total y grasas y aceites.

### Evaluación de la eficiencia de remoción:

Se estableció el porcentaje de remoción (%R) como la capacidad de cada espécimen de prueba para eliminar parte de la concentración de un contaminante específico presente en el agua residual.

Para la estimación de este %R se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%R = ((\text{Cont}(i) - \text{Cont}(f)) \times 100) / \text{Cont}(i)$$

Donde: Cont(i)= Contenido inicial y Cont(f)= Contenido final

Metodología para las determinaciones analíticas:

Tanto para la recolección de las muestras de agua, como para las determinaciones analíticas en el laboratorio, se observaron los procedimientos y técnicas contenidas en la normatividad ambiental oficial vigente en México, que contempla la técnicas establecidas por el manual de métodos estándar para análisis de aguas y aguas residuales (APHA, 2000), iniciando los análisis de las muestras de agua el mismo día del muestreo, por duplicado para cada parámetro; para el pH de campo se utilizó un pHmetro portátil marca AZ Instruments, mientras que en el laboratorio un potenciómetro marca Thermo Orion modelo 410 con electrodo de vidrio y buffer de referencia de 7.0, según la técnica de NMX-AA-008-SCFI-2011.

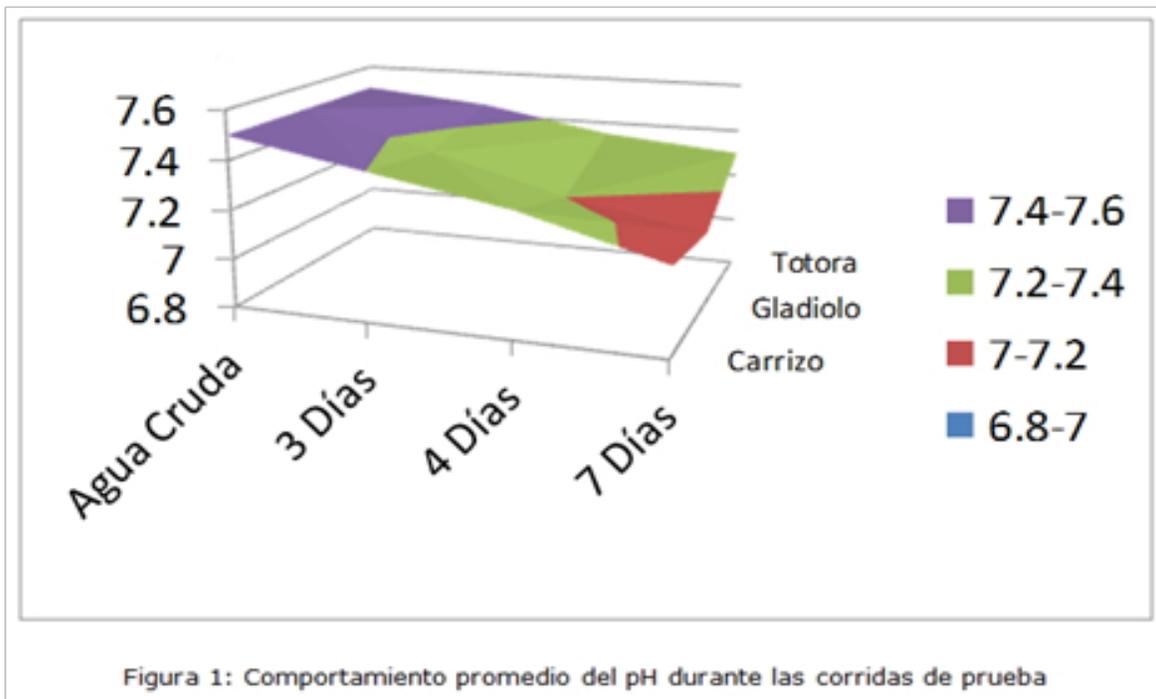
Para la DBO5 se utilizó el método de dilución con incubación por 5 días, mediante frascos Winkler, según la técnica de NMX-AA-028-SCFI-2001. Para la determinación del nitrógeno total se usó un digestor-destilador Kjeldahl, según la norma NMX-AA-

026-SCFI-2001. Para el fósforo total se manejó el método espectrofotométrico según la norma NMX-AA-029-SCFI-2001, y para las grasas y aceites la determinación fue mediante el método de extracción Soxhlet, según la norma NMX-AA-005-SCFI-2000.

*Resultados*

En general se obtuvieron reducciones considerables de todos los parámetros evaluados, tanto con los diferentes especímenes de plantas utilizadas, periodos de tiempos de retención (tres, cinco y siete días), como con las evaluaciones realizadas en diferentes meses del año, sobresaliendo que a temperaturas ambientales cálidas, las reducciones son mayores y con relativos menores tiempos de residencia.

La variación del pH presentó un tendencia, casi uniforme de ligeramente alcalino a neutro (Figura 1), resultando el gladiolo el que más rápidamente reduce la alcalinidad parcial del agua residual.



En referencia con la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno, se puede observar que la mayor remoción se dio en el mes de abril, con un tiempo de retención de siete días y especialmente con la totora y el carrizo en más del 86% (Cuadro I).

Tiempo de retención en días (%Remoción)	3	5	7
DICIEMBRE DE 2010 (TEMP=17°C) (AGUA CRUDA 742)			
Carrizo	495 (33.3)	256 (65.5)	132 (82.2)
Gladiolo	503 (32.2)	280 (62.2)	144 (80.6)
Totora	512 (31)	315 (37.5)	245 (67)
ABRIL DE 2011 (TEMP=26.3°C) (AGUA CRUDA 834)			
Carrizo	452 (45.8)	253 (69.7)	116 (86.1)
Gladiolo	470 (43.6)	412 (50.6)	278 (66.7)
Totora	245 (70.6)	124 (84.8)	111 (86.7)
JULIO DE 2011 (TEMP=24.3°C) (AGUA CRUDA 711)			
Carrizo	398 (44)	226 (68.2)	107 (85)
Gladiolo	426 (40.1)	365 (48.7)	247 (65.3)
Totora	223 (68.6)	120 (83.1)	99 (86.1)
NOVIEMBRE DE 2011 (TEMP=19.4°C) (AGUA CRUDA 703)			
Carrizo	438 (37.7)	422 (40)	437 (37.8)
Gladiolo	235 (66.6)	252 (64.1)	396 (43.7)
Totora	117 (83.3)	119 (83.1)	215 (69.4)

Cuadro 1: Concentración de la DB05 en mg/l y porcentaje de remoción por planta en los tres tiempos de retención evaluados

La remoción en la concentración del nitrógeno total (N) con el carrizo fue mejor en julio, llegando hasta el 64% con el carrizo, en siete días de retención. (Figura 2).

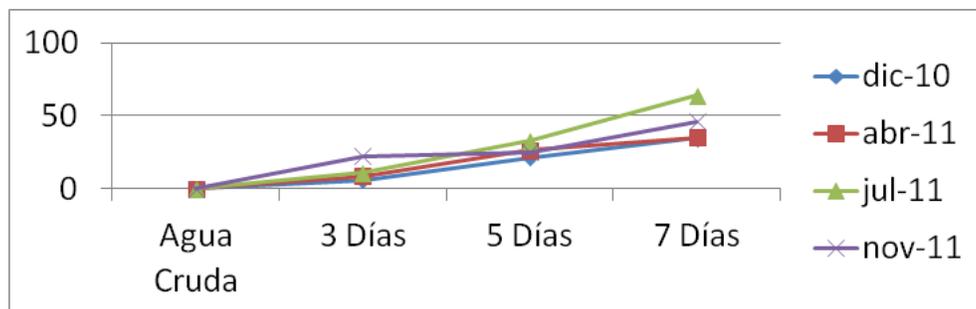


Figura 2: Comportamiento del porcentaje de remoción de N total en el carrizo

Con el gladiolo la concentración del nitrógeno total mejoró en los meses de abril y julio, llegando hasta el 34%, en siete días de retención. (Figura 3).

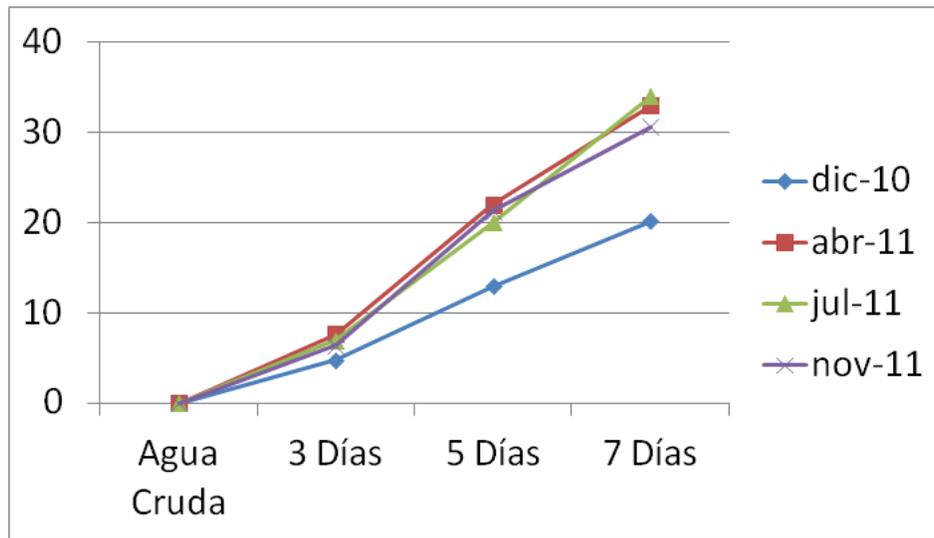


Figura 3: Comportamiento del porcentaje de remoción de nitrógeno total en el gladiolo

De igual forma, La disminución del nitrógeno total con el totora fue mejor en abril y julio, llegando hasta el 53%, en siete días de retención. (Figura 4).

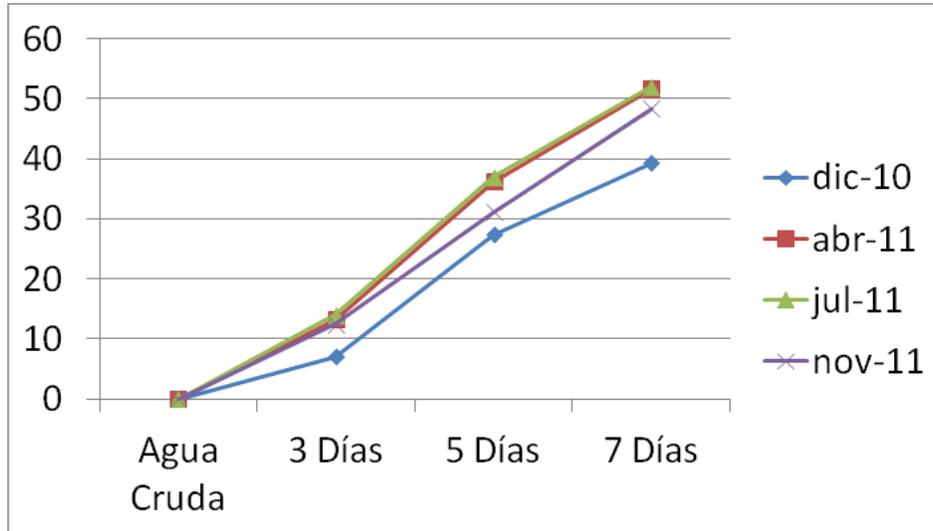


Figura 4: Comportamiento del porcentaje de remoción del nitrógeno total en la totora

En general, la disminución mayor del nitrógeno total fue en julio, llegando hasta el 64% -con el carrizo-, a los siete días de retención.

Por otro lado, la mejor disminución del fósforo total con el carrizo tuvo lugar en abril, en siete días de retención, llegando hasta el 65% (figura 5).

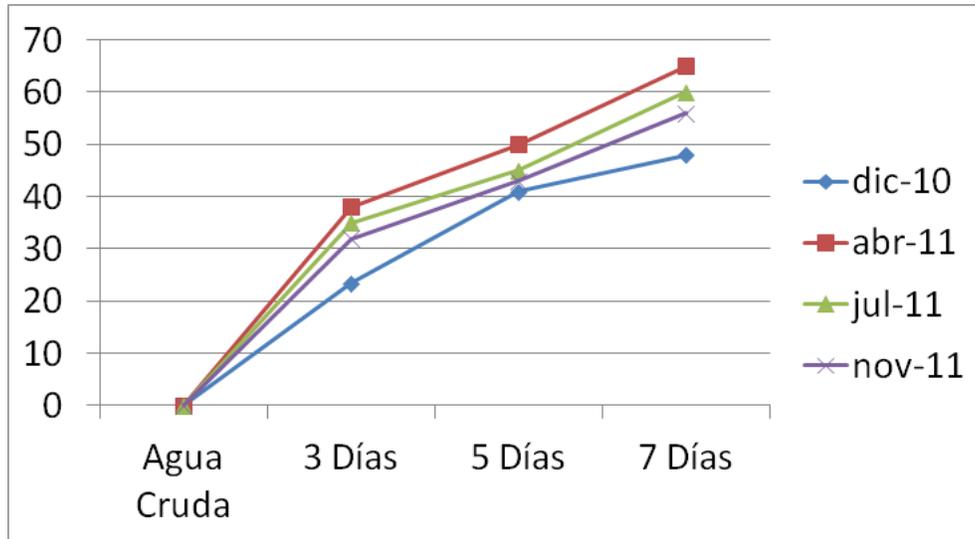


Figura 5: Disminución del fósforo total con en el carrizo

Con el gladiolo la remoción del fósforo total resultó mayor en los meses de abril y julio, alcanzando hasta el 68% en siete días de retención (figura 6).

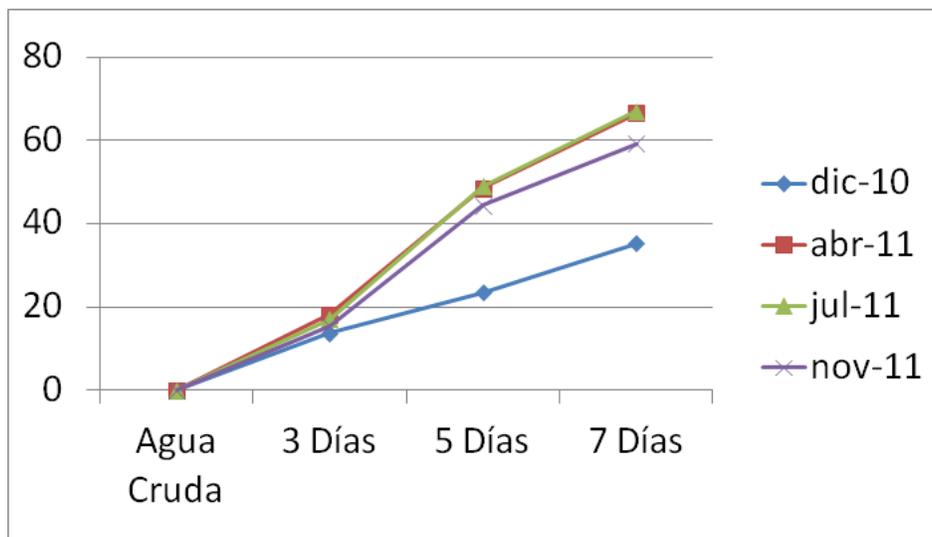


Figura 6: Disminución del fósforo total con el gladiolo

Con la totora, la reducción del fósforo total fue mayor en abril, llegando al 75.75%, el máximo del experimento se hizo en siete días de retención (figura 7).

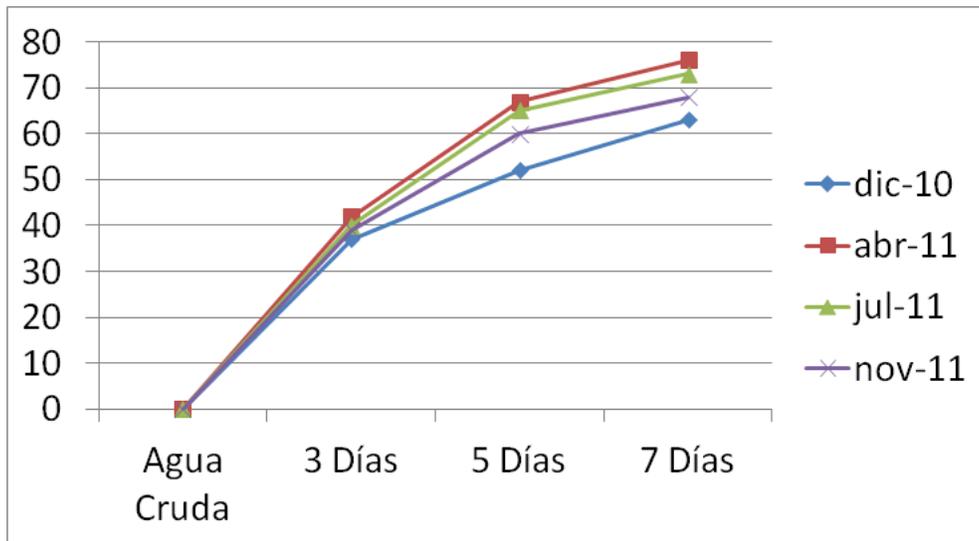


Figura 7: Disminución del fósforo total con la totora

Las grasas y aceites también se redujeron aunque en menor cantidad, con el carrizo fueron de 58%, en siete días (figura 8).

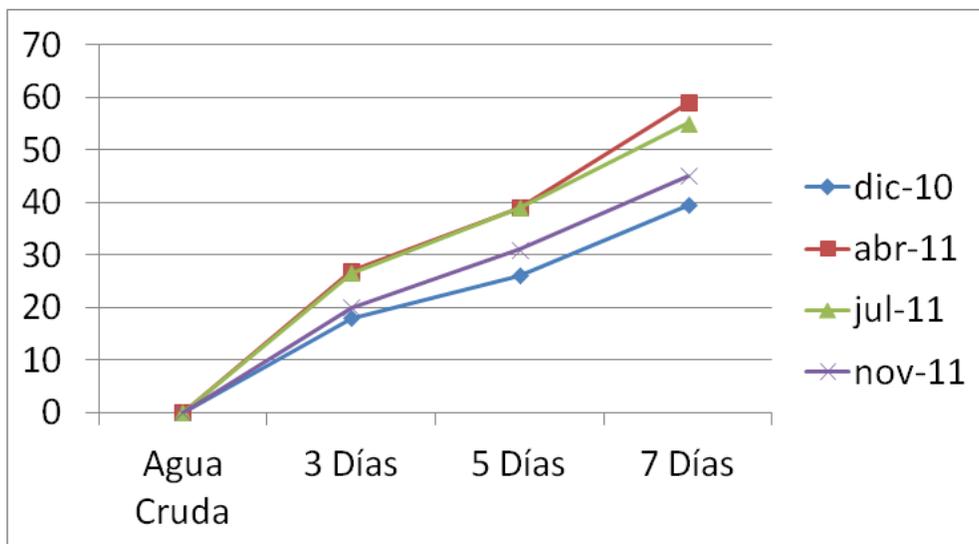


Figura 8 Disminución de las grasas y aceites con el carrizo

Con el gladiolo la mejor reducción de grasas y aceites (55%), ocurrió durante los meses de abril y julio, en siete días (figura 9).

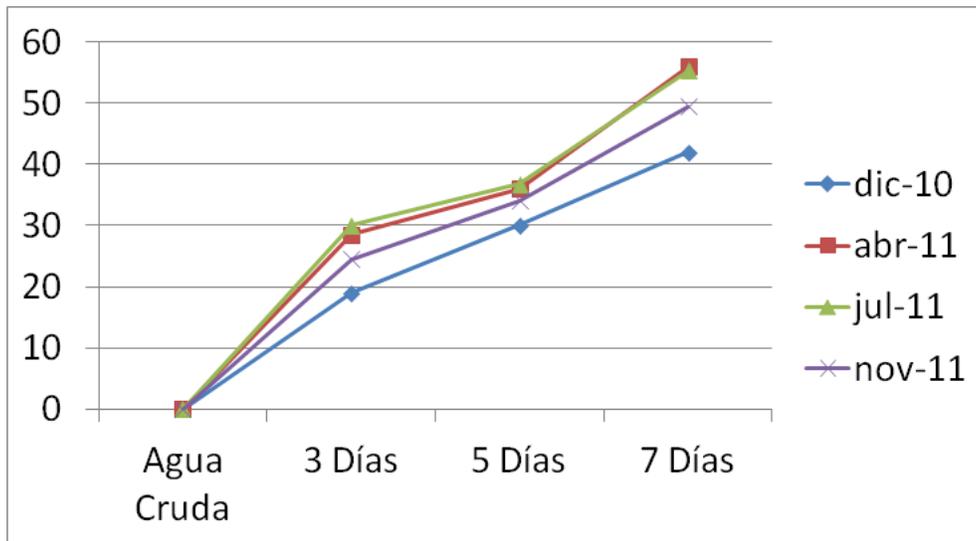


Figura 9: Disminución de las grasas y aceites con el gladiolo

Finalmente, con el totora las grasas y aceites presentaron un porcentaje de remoción del orden del 60% en abril con siete días de retención (figura 10).

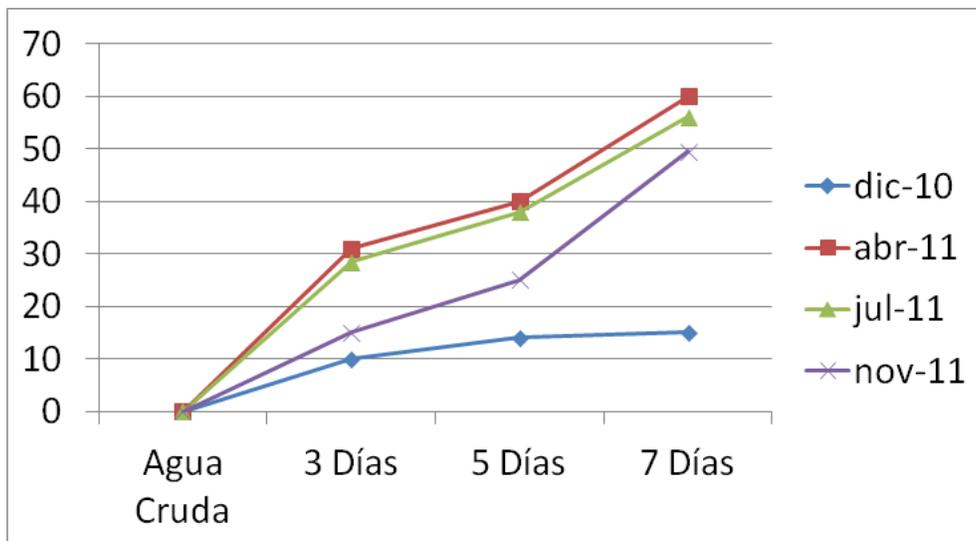


Figura 10: Disminución de las grasas y aceites con la totora

La temperatura estacional influye directamente en la capacidad de las plantas macrófitas para la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales de origen doméstico, independientemente de la especie de planta evaluada en este trabajo, queda patente que las mejores remociones de contaminantes se realizaron en los meses más cálidos (abril y julio), de tal forma que el mayor porcentaje de remoción de DQO5 fue del 86.7 en el mes de abril del 2011,

cuando la temperatura promedio era de 26.7°C máxima temperatura en el periodo de pruebas), mediante la totora con siete días de retención hidráulica, en contraste la menor remoción fue del 30.8% en el mes de diciembre del 2010 (temperatura promedio de 17°C, la más baja del experimento), con el gladiolo en tres días de retención. Los mejores tiempos de retención hidráulica en todos los casos resultaron de siete días.

En general, el pH disminuyó por el efecto de las plantas evaluadas incluso hasta en valores menores de siete (neutralidad), lo que contrasta con lo observado en humedales artificiales para tratamiento de aguas (efecto de alcalinidad por gravas y arenas en sustratos: iones de carbonato y bicarbonato).

El nitrógeno total sufrió reducciones de hasta 64% con el carrizo en Julio del 2011 (temperatura promedio de 24.3°C). El fósforo total se retuvo mejor en la totora: 76% y 73% en los meses de abril y julio del 2011, respectivamente, con siete días de retención. Como el agua cruda utilizada en todas las corridas experimentales procedió de la entrada a los sedimentadores primarios (después del desarenador y la trampa de sustancias ligeras) de la planta tratadora de aguas residuales de Tepatitlán, los niveles de remoción de grasas y aceites fueron relativamente menores (simulación de pretratamiento previo), lo que beneficia la remoción de contaminantes en general; obteniéndose reducciones de hasta el 60% en la totora en abril del 2011 en siete días de retención.

#### Conclusiones

Los resultados encontrados en este trabajo demuestran que el establecimiento de bacterias en las raíces de las plantas, ayudan a la remoción de la carga orgánica y de nutrimentos del agua residual, los mi-

croorganismos son la parte fundamental del mecanismo con que las plantas macrófitas contribuyen a la remoción de los contaminantes; los compuestos orgánicos, nitrogenados y fosforados son transformados a formas más simples y, por lo tanto, más fáciles de ser asimilados por las propias plantas (Llagas y Guadalupe, 2006); sin embargo, se recomienda que para complementar este trabajo se valoren a detalle otros procesos involucrados, como el efecto del sustrato sobre la retención de materia orgánica y nutrimentos, la biodiversidad de microorganismos, la distribución hidráulica, las asociaciones de microorganismos con los especímenes de prueba, etc. Y así lograr una mejor comprensión los procesos fisicoquímicos y biológicos que se llevan a cabo.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que, dependiendo de las condiciones climatológicas, cada especie evaluada remueve selectivamente algunos contaminantes presentes en las aguas residuales de origen doméstico, destacándose mayores porcentajes de remoción en estaciones del año calurosas con gradientes de tiempos de retención menores; complementando la información anterior y mediante la aplicación de modelos matemáticos es posible determinar las cantidades más adecuada de cada uno de los especímenes de prueba, así como los tiempos de retención óptimos para cada estación del año, logrando así el diseño de un sistema sustentable y reproducible de tratamiento de aguas residuales domésticas para esta región, que contribuya al mejoramiento del medio ambiente.

#### Referencias

- American Public Health Association APHA. (2000). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C. USA.
- Benefield, L. y Randall, C. (1980). *Biological process designs for wastewater treatment*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- Brix, H. y Arias, C. (2005). The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering* 25 (pp. 491-500).
- Castañeda, A. (2008). Memorias del 2º Congreso internacional sobre gestión y tratamiento integral del agua en Cap. 6 "Diseño e instalación de un sistema para el tratamiento y reuso de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales". Editorial Fundación ProDIT Córdoba Argentina.
- CEA Jalisco. (2010). [http://www.ceajalisco.gob.mx/transparencia/pdf/agenda\\_agua2030.pdf](http://www.ceajalisco.gob.mx/transparencia/pdf/agenda_agua2030.pdf) Fecha de consulta: diciembre del 2011.
- CNA. (2007). *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua. (2008). *Estadísticas del agua en México 2008 sobre sequía*. México: CONAGUA, Capítulo 2.
- Comisión Nacional del Agua. (2009). Sistema nacional de información del agua (SINA). México: CONAGUA.
- Comisión Nacional del Agua. (2010). *Estadísticas del agua en México 2010*. México: CONAGUA.
- Córdova, R., et.al. (2009). Humedal artificial para tratamiento de aguas residuales en la universidad tecnológica del norte de Guanajuato. Ponencia fu050909. (p. 5).

- Dallas, S. (2005). Reedbeds for the Treatment of "las aguas grises" as an Application of Ecological Sanitation in Rural Costa Rica, Central America." Murdoch University, Western Australia.
- Esponda, A. (2001). *Arranque de un sistema experimental de flujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Faulkner, S. y Richardson, C. (1989). *Physical and chemical characteristics of freshwater wetlands soils*. Lewis Publishers: Tennessee. (p. 805).
- Fenoglio, L. (2000). *Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales de flujo vertical*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Kadlec, R. y Knight, R. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press. USA: Lewis Publishers, Boca Raton, F1.
- Gopal, B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. *Water Sci. Technol.* 40
- Jiang, Z. y Xinyuan, Z. (1998). Treatment and utilization of wastewater in the Beijing Zoo by an aquatic macrophyte system. *Ecological Engineering* 11
- López, N., *et.al.* (2005) Diseño de un humedal artificial para remoción de nutrientes de un afluente del embalse paso de las piedras (Argentina) [http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/ar08572\\_lopez.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/ar08572_lopez.pdf)
- Llagas, W. y Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. Ene./Jun., Vol.9, Nº 17, (pp. 85-96).
- Hammer, D. y Bastian, R. (1989). «Wetlands ecosystems: natural water purifiers», Capítulo 2 en *Constructed wetland for wastewater treatment*, edited by D.A. Hammer, Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- Madigan, M., Martinko, J. y Parker, J. (2004). *Brook, Biología de los Microorganismos*. Pearson Prentice Hall. Madrid. (p. 1096).
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a bienes nacionales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
- Organización de las Naciones Unidas ONU. (2005). Secretary of the Publications Board, United Nations, New York, N.Y. 10017, USA.
- Oswald, U. (2011). *Retos de la investigación del agua en México*. UNAM.CRIM. México.
- Quipuzco, E. (2002). Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal. Cienc. Geogr.*
- Rodríguez, A., *et.al.* (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnol. Ciencia Ed.* 21.
- Romero, M., *et.al.* (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), (pp. 157-167). En Línea. Disponible Sep. 9, 2013:[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300004&lng=es&lng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004&lng=es&lng=en)

#### ¿Cómo citar?

CASTAÑEDA VILLANUEVA, A. A. y Flores López, H. E. (2013, Septiembre). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrofitas típicas en Los Altos de Jalisco, México, en *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*. Año 3, núm. 5, septiembre 2013-febrero 2014.