

# Tecnologías no convencionales para el tratamiento de las aguas residuales en la Facultad de Estudios Superiores Aragón

*Marjorie Márquez Vázquez\**

## Resumen

La Facultad de Estudios Superiores Aragón se ubica en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México, donde el suministro de agua siempre ha sido un problema. En la Facultad aún se utiliza agua potable para el riego de áreas verdes, por lo que para hacer un manejo sustentable de la misma, es necesaria la construcción de una planta de tratamiento que aproveche las aguas residuales que se generan para esta labor. Sin embargo, las tecnologías convencionales no resultan muy convenientes, debido a sus altos costos de operación y mantenimiento y personal capacitado que asegure su buen funcionamiento. En este artículo, se presentan varias tecnologías consideradas como no convencionales, que podrían resultar adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales de la FES Aragón, tomando en cuenta el tipo de agua que se genera, el suelo, clima, recursos financieros, etcétera.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas residuales, tecnologías no convencionales.

## Abstract

The Facultad Estudios Superiores Aragon is located in Nezahualcoyotl municipality, Mexico State, where water supply has always been a problem. In this campus, fresh water is still used for green areas irrigation, so that, it is necessary to build a wastewater treatment plant in order to get a sustainable management and recycle the water generated in the sanitary system. However, conventional technologies are not suitable because of its operational and maintenance high costs and qualified personnel. In this paper many non-conventional technologies are presented that might be suitable for Aragon's wastewater treatment, taking to account the characteristics of wastewater, soil, climate, financial and technical resources, etc.

**Key words:** wastewater treatment, non – conventional technologies.

## Introducción

El acelerado crecimiento de la población tanto rural como urbana ha provocado que la disponibilidad de agua disminuya en el país. En 1950, cada habitante

---

\* M. en C. e I. Ambientales por la Universidad Autónoma Metropolitana. Responsable del Grupo de Reciclaje de Agua del Programa PUMAGUA en la FES Aragón. Profesora de Asignatura "A" Interina en Contaminación del Agua, Tratamiento de Aguas Residuales, Química en Ingeniería y Teoría General de Sistemas en la licenciatura en Ingeniería Civil del mismo campus. Contacto: maryo@comunidad.unam.mx

contaba con 18 035 m<sup>3</sup> al año, en 1980 con 6 958 m<sup>3</sup>, en el 2000 con 4 771 m<sup>3</sup>, en el 2010 con 4 222 m<sup>3</sup> y se estima que para el año 2030 se cuente con 2 793 m<sup>3</sup>/hab/año. Incluso, algunas de las regiones Hidrológico-Administrativas del país, alcanzarán niveles cercanos o inferiores a los 1 000 m<sup>3</sup>/hab/año, lo que se califica como una condición de escasez grave. (CONAGUA, 2010, 164). Además de lo anterior, la cantidad y calidad de fuentes de abastecimiento superficial y subterránea aminora, por lo que para mitigar este efecto, la autoridad federal determinó que debían tratarse las aguas residuales de las grandes y pequeñas poblaciones en ciertos plazos de tiempo (NOM-001. SEMARNAT-1996), el *agua tratada* se ocupa para actividades tales como lavado de autos, riego de áreas verdes y cultivos que no se consuman crudos y hasta para la recarga de los mantos acuíferos.

Uno de los municipios del Estado de México que sufre constantemente por el suministro de agua potable es Nezahualcóyotl, en donde se localiza la Facultad de Estudios Superiores Aragón (FES Aragón). En la actualidad, dada la problemática mencionada, es imperativo que al agua potable que recibe la Facultad se le proporcione un uso eficiente, no solo con la disminución de fugas y optimización del consumo, sino también con el aprovechamiento de las aguas residuales que ahí se generan. El programa de uso y manejo del agua en la UNAM (PUMAGUA) que se aplica desde hace 3 años en Ciudad Universitaria, entró en vigor el 13 de octubre de 2009 en la FES Aragón, y dentro de sus objetivos está el reciclar el agua residual en el riego de las áreas verdes del plantel.

La elección del sistema de tratamiento que ha de cumplir con este objetivo debe tener en cuenta ciertas consideraciones, es decir, que sea económico en su construcción pero principalmente para su operación y mantenimiento; tener en cuenta el tipo de suelo, cuya capacidad de carga es baja, no requerir de personal especializado o que permanezca las 24 horas del día para asegurar su correcto funcionamiento; resistir cambios drásticos tanto en la cantidad de flujo como en la composición del agua residual, ya que en la FES Aragón se trabaja en 2 turnos de ocho horas cada uno y hay períodos vacacionales (de tres semanas); no generar cantidades considerables de residuos del tratamiento (lodos) que dificulten su disposición final, proporcionar una calidad adecuada para el riego de áreas verdes con contacto directo sin dejar a un lado las características salinas de suelo, no generar una mala imagen y minimizar las posibles molestias a la comunidad (ruidos, malos olores, atracción de vectores, etcétera), no depender en la medida de lo posible del suministro de energía eléctrica (uso de bombas, aireadores, etcétera), y como valor agregado, ofrecer un óptimo servicio para docencia e investigación.

Al parecer las exigencias son muchas, sin embargo estas características son muy semejantes a las que presentan las pequeñas comunidades en distintas partes del mundo, principalmente en los países en vías de desarrollo, donde los presupuestos locales están restringidos, no hay expertos en la localidad, las condiciones geológicas, climáticas y socioculturales son específicas (Fahd *et al.*, 2007, 12) y en los cuales a menudo se hace una mala elección en la tecnología que se ha de utilizar, provocando que la gran inversión para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se pierda en el futuro al dejar de operarla por falta de recursos para los insumos necesarios y escaso mantenimiento (May *et al.*, 2009, 652).

Por lo tanto, se han sugerido tecnologías no convencionales que consuman un mínimo de energía o bien que no la requieran, cuya operación y mantenimiento sean sencillos y que garanticen una buena calidad del agua tratada aún cuando se tengan considerables fluctuaciones en el flujo y la carga orgánica; además de procesos de manejo y disposición de lodos de desecho sencillos. Ejemplos de tecnologías no convencionales son: filtros verdes, lagunas de estabilización, humedales artificiales, filtros percoladores, biodiscos y filtros de turba o arena. (Fahd *et al.*, 2007, 13 -14, Muga y Mihelcic, 2008, 446).

De las tecnologías mencionadas las que podrían ser más convenientes para la FES Aragón son los humedales artificiales de flujo subsuperficial, los filtros percoladores y los biodiscos, ya que en los filtros verdes el agua residual se ocupa para inundar áreas con árboles plantados, éstos se irán nutriendo del suelo y los compuestos que proporcione el agua, sin embargo, al igual que las lagunas, el agua permanece expuesta, atrayendo vectores como mosquitos, malos olores, etcétera, que podrían significar una molestia o riesgo sanitario para la comunidad universitaria así como para las colonias que circundan a la Facultad.

## 1.1 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son estructuras diseñadas y construidas por el hombre con sustratos saturados, vegetación emergente o sub-emergente, vida animal y agua que simula y optimiza los procesos que se dan en los humedales naturales para uso y beneficio del hombre (Hammer, 1989, 12 -13). Los hay de flujo superficial y subsuperficial. Los humedales de flujo superficial son similares a los humedales naturales, espacios de transición entre las zonas secas y las de grandes profundidades de agua, usualmente, son canales poco profundos o reservorios a través de los cuales el agua fluye a muy baja velocidad sobre y traspasando el sustrato compuesto de suelo, arena o grava (Shutes, 2001, 441). En el humedal **de flujo subsuperficial** ya sea de flujo horizontal o vertical, el agua corre a través del medio de soporte constituido por

grava y arena, con lo que se evitan malos olores y atracción de mosquitos. Ambos poseen una capa impermeable de arcilla, suelo cemento, concreto o geomembranas. Las plantas en los humedales son del tipo flotante, emergente o bien subemergente, siendo éstas últimas las que se ocupan en los humedales de flujo subsuperficial como los carrizos, juncos, espadañas y hasta plantas de ornato como gladiolas, iris, thalias, orejas de elefante, etc.(Srinivasan *et al.*, 2009, 20)

En comparación con las tecnologías convencionales, los humedales son una tecnología más económica, fácil de operar y mantener (Kivasi, 2001,548) pues son zanjas de poca profundidad entre 30 cm y 60 cm. Las plantas que realizan el tratamiento proporcionan el oxígeno necesario, con lo que se omite el uso de equipos de aireación. Poseen una gran adaptabilidad a las variaciones de flujo y composición de agua gracias a la compleja interacción del sustrato, bacterias, agua y oxígeno. No necesita un monitoreo constante, aproximadamente de una a ocho horas por semana, las plantas pueden ser capaces de eliminar metales potencialmente tóxicos, tales como Cd, Pb, As, etcétera, que los sistemas tradicionales no realizan. Proveen altas eficiencias de remoción de materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos totales y organismos coliformes fecales. (Srinivasan *et al.*, 2009, 24, Kivasi, 2001,551). Se han utilizado para tratar distintos tipos de aguas residuales como aguas residuales de la industria textil y papelera, alimenticia, de granjas de cerdos, vinos y destilados, granjas acuícolas, lixiviados de rellenos sanitarios, escurrimientos pluviales, etcétera. (Vymazal, 2009,2-11). Sin embargo, poseen como desventaja el requerir extensiones considerables de terreno.

**Figura 1**



Humedal artificial colocado por una Universidad japonesa para tratar los desechos de una granja. (Japan for sustainability, 2009)

## 1.2 Filtros percoladores

Los filtros percoladores están constituidos por un lecho de piedra machacada, grava, escoria, de tamaño relativamente grande o empaques sintéticos sobre cuya superficie se aplican los líquidos residuales por medio de rociadores. El mecanismo principal de remoción de la materia orgánica es la absorción y asimilación biológica en el medio de soporte. Para que se realice el metabolismo biológico, el oxígeno se suministra por la circulación del aire a través de los intersticios entre el medio filtrante y, parcialmente, por el oxígeno disuelto presente en el agua residual. Se clasifican en función de las cargas hidráulicas y orgánicas aplicadas como de baja, media, alta tasa y superalta. Se puede alcanzar una calidad de efluente de 20 a 30 mg/L de DBO. Sin embargo, son particularmente vulnerables a cambios climáticos, variando su operación, en las estaciones de verano e invierno (Noyola *et al.*, 2000, 33 – 36).

Dentro de sus ventajas puede mencionarse que el procedimiento es simple y proporciona un servicio confiable, tiene costos de operación muy bajos, poco requerimiento de energía para la remoción de DBO en comparación con los lodos activados, alrededor de 2 a 4 kg DBO aplicada/kWh contra 1.2 a 2.4 kg DBO/kWh de los lodos activados para filtros de alta tasa (Melcaf & Eddy, 2003, 893), es un sistema flexible pero requiere de un pretratamiento cuando el agua tiene una alta carga orgánica. (Bruns Umwelttechik, 2010). Para plantas pequeñas cuyos flujos nocturnos son mínimos, se produce una dosificación intermitente que debe subsanarse con una recirculación para mantener la humedad del filtro. (Melcaf & Eddy, 2003, 894).

Las desventajas que posee son: la producción de malos olores y proliferación de moscas, el costo de su implementación se eleva al utilizar empaques sintéticos, y se requiere de un sedimentador secundario para retirar los sólidos que se generan del desprendimiento de la película bacteriana que muere, lo que ocasiona una mayor generación de lodos de desecho a disponer.

**Figura 2**



Filtro percolador (Bruns Umwelttechik, 2010)

Se han empleado filtros percoladores para remoción de cobre en aguas residuales (Ziolko, *et al.*, 2009,6235), tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios (Matthews, 2009,2557), tratamiento de efluentes de industrias de tintas y barnices, (Kornaros y Lyberatos, 2006, 95) y se ha trabajado en la mejora de estos sistemas para disminuir la producción de malos olores que provoca el amoniaco que se forma en el proceso de depuración. (Sakuma, *et al.*, 2008, 4057)

### 1.3 Biodiscos

Los biodiscos o discos biológicos rotatorios son plantas depuradoras compactas que consisten en baterías de discos de diversos materiales (madera, polietileno corrugado, poliestireno corrugado, pvc) colocados en paralelo, que se van sumergiendo secuencial y parcialmente en un depósito por donde circula el agua a tratar, sobre dicho soporte se adhiere y desarrolla una biomasa activa procedente del agua residual, y la cual realiza el efecto depurador del sistema (Contragua S. L. 2010).

Trabajan satisfactoriamente a temperaturas entre 12°C y 32°C, con un ph entre 6.5 y 8.5, con aguas salinas, no requieren de recirculación a menos que las cargas orgánicas sean mayores de 20 kg DBO/m<sup>3</sup>-d (Noyola *et al.*, 2000, 46 – 53). Se pueden alcanzar calidades en los efluentes de 15 – 30 mg/L de DBO, los períodos de retención hidráulica van de 0.7 a 1.5 horas cuando se remueve materia carbonácea únicamente y de 1.5 a 4 horas cuando además de la DBO se desea llevar a cabo la nitrificación (Melcaf & Eddy, 2003, 933).

Figura 3



Biodiscos. (Epc, 2010)

Las principales ventajas de los biodiscos sobre otros tratamientos biológicos son el bajo costo de consumo de energía y la simplicidad de operación y mantenimiento. Además de que al prescindir de la recirculación, se minimizan apreciablemente los costos de construcción, operación y

mantenimiento. Se pueden diseñar fácilmente unidades para aumentar su capacidad en el futuro. No se afecta negativamente por sobrecargas hidráulicas, ya que tiene una capa de microorganismos adherida; el biodisco puede recobrar rápidamente su estabilidad en los casos donde las cargas hidráulica, orgánica o ambas varíen de forma súbita o intermitente. La producción de sólidos no es mucha, por lo que el tamaño del sedimentador secundario es menor. Además, carece de problemas de aerosol y ruido. (Noyola *et al.*, 2000, 56 – 57).

Las desventajas que tiene este sistema es que sus costos se comportan de manera casi lineal con respecto a los caudales de agua por tratar, lo cual no sucede en otros sistemas convencionales. Se debe hacer un diseño mecánico riguroso, pues se han registrado varios rompimientos y desanclaje de la flecha que soporta a los discos.

Los biodiscos pueden aplicarse para tratar efluentes provenientes de hoteles, aeropuertos, hospitales, complejos turísticos, pequeñas comunidades, centros deportivos, industrias, lavanderías, criaderos, laboratorios fotográficos, etc. (Totagua, 2010)

## 2. Metodología

Se llevó a cabo una investigación biblio-hemerográfica de las tecnologías más adecuadas para las condiciones climáticas, geológicas y económicas de la FES Aragón. Así mismo, se presentan los resultados de un análisis preliminar realizado por el grupo de Reciclaje de Agua de PUMAGUA FES Aragón a una muestra compuesta de agua residual de volumen fijo del colector principal de la Facultad con base en la NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a sistemas de alcantarillado.

La muestra compuesta se hizo tomando 200 ml de agua residual proveniente de 6 atarjeas del colector principal, una al inicio y otra al final del colector, y las cuatro restantes en aquellos puntos donde se tenía la confluencia de las redes secundarias del sistema de alcantarillado y que mostraban mayor estancamiento de agua debido a las contrapendientes del sistema.

Las muestras se tomaron en frascos de vidrio de un litro con tapón esmerilado, no hubo necesidad de preservarlas ya que se analizaron inmediatamente en el laboratorio de Ingeniería Ambiental del Centro Tecnológico Aragón.

Los parámetros que se determinaron se presentan en la tabla 1, donde se muestra la técnica analítica y el equipo utilizado, algunos se analizaron con base en los Métodos Normalizados (APHA-AWWA-WPCF, 1992). Y para el resto

se ocuparon dos fotómetros, uno marca HANNA y el otro marca PAQUALAB los cuales se basan en los métodos normalizados pero con modificaciones.

**Tabla 1. Parámetros determinados al agua residual de la FES Aragón**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>TÉCNICA ANALÍTICA</b>	<b>EQUIPO</b>
<b>Aluminio</b>	Colorimétrica	Fotómetro marca ELE PAQUALAB
<b>Cloruros</b>	Titulométrico	
<b>Cobre</b>	Colorimétrica	Fotómetro marca ELE PAQUALAB
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Potenciométrico	Oxímetro YSI 85
<b>Cromo IV</b>	Colorimétrica	Fotómetro medidor de iones específicos HANNA Modelo C200
<b>DQO total</b>	Titulométrico	
<b>DQO soluble</b>	Titulométrico	
<b>Grasas y aceites</b>	Gravimétrico	
<b>Materia flotante</b>	Tamizado	
<b>Nitrógeno Amoniacal</b>	Colorimétrica	Fotómetro medidor de iones específicos HANNA Modelo C200
<b>Nitritos</b>	Colorimétrica	Fotómetro medidor de iones específicos HANNA Modelo C200
<b>Nitratos</b>	Colorimétrica	Fotómetro medidor de iones específicos HANNA Modelo C200
<b>Oxígeno disuelto</b>	Potenciométrica	Oxímetro YSI 85
<b>pH</b>	Potenciométrica	OAKTON Modelo 510 S
<b>Sólidos Totales</b>	Gravimétrica	
<b>Sólidos Suspendedos Totales</b>	Gravimétrica	
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	Gravimétrica	
<b>PARÁMETRO</b>	<b>TÉCNICA ANALÍTICA</b>	<b>EQUIPO</b>
<b>Sulfatos</b>	Colorimétrica	Fotómetro marca ELE PAQUALAB
<b>Temperatura</b>		Oxímetro YSI 85
<b>Turbidez</b>	Nefelométrica	Turbidímetro ELE PAQUALAB Modelo 198.
<b>Zinc</b>	Colorimétrica	Fotómetro medidor de iones específicos HANNA Modelo C200



### 3. Resultados y discusión

A continuación se presenta en la tabla 2, los resultados de los parámetros analizados en la muestra compuesta de agua residual del colector principal de la FES Aragón y cuando es el caso, los límites que establece la normatividad de referencia.

**Tabla 2. Comparativo de los parámetros analizados con la NOM – 002- SEMARNAT- 1996 (Márquez y Martínez, 2010)**

PARÁMETRO	MUESTRA COMPUESTA	LÍMITE ESTABLECIDO
Aluminio, mg/L	0	NA
Cloruros, mg/L	1281	NA
Cobre, mg/L	1.08	20
Conductividad Eléctrica, $\mu$ S	3960	NA
Cromo IV, mg/L	0.007	1
DQO total, mg/L	264	NA
DQO soluble, mg/L	256	NA
Grasas y aceites, mg/L	295	100
Materia flotante	Presente	Ausente
Nitrógeno Amoniacal mg/L	7.64	NA
Nitritos, mg/L	19.31	NA
Nitratos, mg/L	0.019	NA
Oxígeno disuelto, mg/L	0.8	NA
pH	8.34	5.5 a 10
Sólidos Totales, mg/L	2271	NA
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	70	125
Sólidos Disueltos Totales, mg/L	2201	NA
Sulfatos, mg/L	32	NA
Temperatura, °C	24.8	40
Turbidez, UTN.	4	NA
Zinc, mg/L.	7.95	12

NA: No aplica

Los resultados anteriores indican que el agua del colector es del tipo débil con base en la DQO (Metcalf & Eddy, 2003, 191), sin embargo, el valor de la conductividad eléctrica es elevado, lo cual confirma la presencia de una gran cantidad de sales disueltas, probablemente aportadas por los laboratorios (L1 y L2) y por infiltraciones del nivel freático al colector, en su mayoría son cloruros. Se considera que prevalecen las condiciones anaerobias dado el bajo valor de oxígeno disuelto, empero la cantidad que hay, es suficiente para transformar una parte del amonio presente en nitrito, (no demasiada para llegar a oxidarlo por completo a nitrato), por ello se observa que predomina la concentración de nitritos sobre la concentración de amonio y que hay una mínima cantidad de nitrato. La concentración de sulfato es baja, también atribuible a la poca oxigenación, es muy probable que la cantidad de sulfuros no lo sea.

La muestra compuesta presentó un poco de materia flotante procedente de la atarjea que se localiza frente al comedor de la Facultad, en el cual había residuos de comida, materia orgánica de gran tamaño en general, desechos como vasos, envolturas, etcétera.

Debido a las contra-pendientes y al escaso mantenimiento, el agua no tiene en promedio una gran cantidad de sólidos suspendidos totales, confirmándose este resultado con el valor tan bajo de turbidez.

Con respecto a los metales medidos, todos se encuentran por debajo del límite permitido por la norma, el más abundante es el zinc. Debido a que el agua es ligeramente alcalina, se favorece la precipitación de los metales por lo tanto, difícilmente se encontrarán disueltos en el agua.

Se rebasa el límite establecido para el parámetro de grasas y aceites, la fuente de éstos son los laboratorios de las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica y el comedor.

#### **4. Recomendaciones**

Las tecnologías no convencionales son las que responden mejor a los requerimientos de tratamiento de la FES Aragón, debido a sus bajos costos de operación y mantenimiento, además de su adaptabilidad a los cambios de flujo y concentración de los constituyentes del agua residual. De éstas, se sugirieron los procesos de humedales artificiales, filtros percoladores y de biodiscos. Por el tipo de agua residual de la Facultad, podrían emplearse cualquiera de las tres, dada la baja cantidad de materia orgánica.

A pesar de que el consumo energético es extremadamente menor en comparación con los procesos convencionales, para los biodiscos y filtros

percoladores, se tendría que considerar el costo de una subestación. Y para ambos sería necesario construir un tanque de sedimentación secundaria. Dependiendo de sus dimensiones, el material de empaque o medio de soporte para los microorganismos del filtro percolador podría ser sintético, para aminorar el peso total de la estructura, tomando en cuenta el tipo de suelo que se tiene, lo que aumentaría su costo de instalación. De igual modo, para los biodiscos deben adquirirse algunos complementos o bien construirlos como es el caso de las cámaras donde se albergarán, pues al estar expuestos, la lluvia puede provocar el desprendimiento de la biopelícula y alterar la eficiencia del tratamiento.

De los tipos de humedales artificiales que hay, el humedal de flujo subsuperficial es el más conveniente para la FES Aragón, ya que por su poca profundidad es apto para un suelo con baja capacidad de carga, evitaría problemas de malos olores o generación de mosquitos, que el filtro percolador no. Aportaría un elemento agradable en el aspecto paisajístico, aún más si se utilizan plantas ornamentales. El agua del efluente podría no necesitar desinfección si el diseño se enfoca en la eliminación de organismos coliformes fecales, lo que aumentaría su tamaño o bien, colocar un sistema de desinfección. Mientras haya espacio, el proceso puede ampliarse a futuro conforme cambien las necesidades de la Facultad. También, debe destacarse, que el área total requerida no necesariamente debe satisfacerse con un solo humedal, sino que puede hacerse un sistema modular que facilite el acomodo de cada proceso en el área disponible, no requiere sedimentador secundario.

De las tres tecnologías sugeridas la mejor de ellas son los humedales de flujo subsuperficial, sin embargo, debe investigarse el tipo de macrofita a emplear, de acuerdo al clima y si se desea un beneficio de las cosechas y podas de los humedales, además se deben realizar estudios hidrológicos de la zona para evaluar el efecto de la evapotranspiración de las plantas.

Otro aspecto que debe considerarse es la ubicación de la planta, pues actualmente el agua fluye en sentido opuesto de dónde se localiza el área disponible, si se llegase a hacer una sustitución del colector principal para corregir la problemática de contrapendientes, sería conveniente invertir la dirección de la descarga.

Debe realizarse un proyecto para diseñar una red de distribución y riego de áreas verdes con el efluente que genere la planta de tratamiento, procurando utilizar la infraestructura con la que ya se cuenta para minimizar costos.

Por otro lado, en concordancia con Kazumba y colaboradores (2010, 625) el aprovechamiento sustentable del agua residual tratada en el riego debe

combinar aspectos tanto del suelo como del tipo de planta, así como el costo de mantenimiento del sistema de irrigación. Los factores que influyen en la transmisión de enfermedades por irrigación son: el grado de tratamiento del agua residual, el tipo de cultivo y el uso que se le proporciona a éste después de su cosecha, por ejemplo si será o no de consumo humano, para animales o bien si el contacto que se tendrá con la superficie regada será ocasional o constante.

## 5. Fuentes de consulta

- Bruns Umwelttechnik Water–Using–Cleaning - Saving, (2010). Disponible en: <http://brunsumwelttechnik.de/en/products3.php>. Fecha: 10 de mayo 2010.
- - CONAGUA, “A 10 años de presentar al agua en cifras”. *Estadísticas del Agua en México*, México, edición 2010. 257 p. p.
- Contragua S. L. Todo en tratamiento de agua. (2010). Disponible en: <http://www.cotragua-sl.es/Equipos/equipos/biodiscos/biodiscos.htm> . Fecha: 10 de mayo de 2010.
- Epco. (2010). Designers of Systems and Equipment for the Treatment of Sewage and other Biological Wastewaters. Disponible en: <http://www.epco.com.au/EQUIPMENT/RBC/rbc.htm> . Fecha: 9 de mayo de 2010.
- Fahd Khalid, Martín Isabel y Salas Juan José. The Carrion de los Cespedes Experimental Plant and the Technological Transfer Centre: urban wastewater treatment experimental platforms for the small rural communities in Mediterranean area. *Desalination*, 2007. 215, 12 -21.
- Hammer Donald A. *Constructed Wetland for Wastewater Treatment*. Estados Unidos. Lewis Publishers, 1989.831 p. p.
- Japan for Sustainability (2009) Constructed Wetland Facility Established by Japanese University Purifies Livestock Farming Drainage. Disponible en: <http://www.japanfs.org/en/pages/029539.html> 12 de abril de 2009.
- Kazumba Shija, Guillerman Leonid, DeMalach Yoel y Oron Gideon. Sustainable domestic effluent reuse via subsurface drip irrigation (SDI): alfalfa as a perennial model crop. *Water Science and Technology*, 2010. 61.3, 625 -632.
- Kivaisi Amelia K. The potential for constructed wetland for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*. 2001. 16, 545 – 560.
- Kornaros M y Lyberatos G. “Biological treatment of wastewater from dye manufacturing company using a trickling filter”. *Journal of Hazardous Material*. 2006. 136,95 – 102.

- Márquez Marjorie y Martínez Sergio A. “Caracterización preliminar del agua residual en el colector principal de la Facultad de Estudios Superiores Aragón. Programa PUMAGUA”. México. 2010.
- Matthews Richard, Winson Michael y Scullion John. “Treating landfill leachate using passive aeration trickling filters; effects of leachate characteristics”. Science of the Total Environment. 2009. 407, 2557 – 2564.
- May A. Massoud, Akram Tarhini, Joumana A. Nasr. “Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries”. Journal of Environmental Management. 90. 2009. 652 – 659.
- APHA- AWWA- WPCF. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. España. Décimo séptima edición. Ediciones Diaz de Santos. 1992.
- Muga Helen E. y Mihelcic James R. “Sustainability of wastewater technologies”. Journal of Environmental Management. 88. 2008. 437 – 447.
- Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4<sup>TH</sup> Edition. México. Mc Graw Hill. 2003. 1819 p. p.
- NOM- 001- SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales crudas en cuerpos receptores. México. 1996.
- Noyola Adalberto, Vega Eduardo, Ramos Judith G., y Calderón César G. Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Módulo 4. México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2000, 127 p. p.
- Sakuma Takeyuki, Jinsiriwani Siriwat, Hattori Toshihiro y Deshusses Marc A. “Removal of ammonia from contaminated air in biotrickling filter – Denitrifying bioreactor combination system”. Water Research.42. 2008. 4507 – 4513.
- Shutes R. B. E. “Artificial wetland and water quality improvement”. Environment International. 26. 2001. 441 – 447.
- Srinivasan Neralla, Weaver Richard W., Lesikar Bruce J. y Persyn Russell A. “Improvement of domestic wastewater quality by subsurface flow constructed wetlands” Bioresource Technology. 75. 19 – 25.
- Totgaa. Depuración y reutilización de aguas residuales. (2010). Disponible en en: <http://www.depuradoras.eu/depuradoras-urbanas-biodiscos.html> . Fecha: 9 de mayo de 2010.

- Vymazal J. “The use constructed wetlands with horizontal sub.surface flow for various types of wastewater”. *Ecological Engineering*, 35, 1-17.
- Ziolko Dominik, Hala David, Lester John N. y Scrimshaw Mark D. “The effectiveness of conventional trickling filter treatment plants at reducing concentrations of copper in wastewaters”. .407. 2009. 6235 – 6241.