



INNOVATIVE ALTERNATIVE OF LOW COST TO PURIFY WATERWASTER IN COUNTRIES IN VIA OF DEVELOPMENT

HUMEDAR I: ALTERNATIVA INNOVADORA DE BAJO COSTO PARA DEPURAR AGUAS RESIDUALES EN PAISES EN VIA DE DESARROLLO

Dr. Ing. Otoniel Alfonso Sanabria Artunduaga

Ingeniero Civil, Especialista en Arquitectura Bioclimática y Construcción Sostenible, Magíster en Ingeniería Ambiental y Doctor en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos en Ingeniería Ambiental. Profesor Investigador. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia

Abstract: It has been designed and investigated to laboratory scale and later on several models have been built to real scale in diverse communities and human establishments in Colombia, a prototype of simple and efficient configuration for the treatment of wastewater called HUMEDAR - I® whose configuration involves an anaerobic reactor of parallel compartments of piston flow (RACFP), followed by an high rate constructed wetland conformed by native and common macrophytes that grow up supported on plastic recycled media with a special design of approx. $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ of specific surface. This outline has shown advantages regarding similar processes as for cost and achievement of the prospective efficiencies for the purification of the pollutants. HUMEDAR - I® doesn't require routine neither continuous maintenance, it doesn't consume electric power neither demand specialized personnel for its operation and it can be used in small populations, agroindustrial and similar industries, camps, populations' neighbourhoods, slaughterhouses and similar facilities that pour equivalent applied organic loads to those generated in communities of up to 5000 inhabitants, for each built unit. The investigations results show that HUMEDAR - I® achieves the required purification of the present pollutants in the domestic wastewaters beyond the levels demanded by the Colombian normative (80% in organic load). Efficiency values have been obtained from 92 to 95% in removal of BOD_5 and SS, 74 to 79% in nutrients (N and P) and up to four coliforms logarithmic magnitude orders in the systems to real scale with 18 hours of total hydraulic retention time of continuous flow. The used effective area corresponds to the range from 0.1 to 0.47 m^2 per eq-inhabitant depending on the assisted population, what supposes a decrease of at least 90% or bigger regarding the typical demand of land used with conventional systems of constructed wetlands (5 to 12 m^2 per Eq-inhabitant) being constituted in an excellent alternative to purify the wastewaters in countries in way of development and particularly in Latin America and the Caribbean region.

Resumen: Se ha diseñado e investigado a escala de laboratorio y posteriormente se han construido varios modelos a escala real en diversas comunidades y asentamientos humanos en Colombia, un prototipo de configuración simple y eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas denominado HUMEDAR - I® cuya configuración involucra un reactor anaerobio de compartimientos paralelos de flujo de pistón (RACFP), seguido de un humedal artificial de alta tasa conformado por macrofitas nativas y comunes soportadas sobre medios de soporte plástico reciclado con un diseño





especial de aprox. $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de superficie específica. Este esquema ha mostrado ventajas respecto de procesos similares en cuanto a costo y logro de las eficiencias esperadas para la depuración de los contaminantes. HUMEDAR - I® no requiere mantenimiento rutinario ni continuo, no consume energía eléctrica ni demanda personal especializado para su funcionamiento y puede ser utilizado en poblaciones pequeñas, industrias agroindustriales y similares, campamentos, barrios de poblaciones, mataderos e instalaciones similares que viertan cargas orgánicas aplicadas asimilables a las generadas en comunidades de hasta 5000 habitantes equivalentes, por cada unidad construida. Los resultados obtenidos de las investigaciones desarrolladas, confirman que HUMEDAR - I® logra la depuración requerida de los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas más allá de los niveles exigidos por la normativa colombiana vigente (80 % en carga orgánica). Se han obtenido valores de eficiencia de 92 a 95% en remoción de DBO_5 y SS, 74 a 79 % en nutrientes (N y P) y hasta cuatro ordenes de magnitud logarítmicas de coliformes en los sistemas a escala real con flujo continuo para un tiempo total de retención de 18 horas. El área efectiva utilizada corresponde al rango de 0.1 a $0.47 \text{ m}^2/\text{hab}$ - Equivalente dependiendo de la población atendida, lo que supone una disminución de por lo menos un 90 % o mayor respecto de la demanda típica de terreno utilizada con sistemas convencionales de humedales artificiales ($5 \text{ a } 12 \text{ m}^2/\text{hab}$ - Equivalente) constituyéndose en una excelente alternativa para depurar las ARU en países en desarrollo y particularmente en Latinoamérica y el Caribe.

Keywords: HUMEDAR - I®, macrófitas, biopelículas, Humedales Artificiales, Estación Depuradora de Aguas residuales (EDAR), Superficie específica

1. INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento de la población y el desarrollo industrial asociado han venido desmejorando la calidad de los recursos naturales sobre los que sustenta la vida, en especial sobre el recurso agua. Los países desarrollados han construido sistemas de mitigación de los impactos relacionados, tratando sus vertimientos. En nuestro medio las grandes ciudades han hecho esfuerzos en este sentido, sin embargo dichas tecnologías son costosas y por lo tanto de difícil aplicación en pequeñas comunidades. Lo anterior hace necesario el desarrollo de tecnologías ambientalmente eficientes y económicamente viables.

Los sistemas naturales ofrecen grandes potencialidades para el tratamiento de las aguas residuales a bajo costo, sin embargo no ofrecen suficiente eficiencia en la remoción de contaminantes, de estos sistemas los humedales son una tecnología que cada vez gana más adeptos por sus mejores eficiencias de remoción

de materia orgánica, contaminantes y patógenos, sin embargo, tradicionalmente, requieren de grandes áreas y se utilizan como sistemas de pulimento.

El trabajo realizado por el Dr. Otoniel Sanabria y su grupo de investigación en el proyecto HUMEDAR I, permite tratar las aguas residuales con eficiencias cercanas al 95% al utilizar medios de soporte plástico en humedales artificiales. En este sentido la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño, a través de su grupo de Investigación GRESIA viene desarrollando un proyecto que pondrá en operación estas investigaciones en asociación con la utilización de macrófitas nativas del altiplano cundiboyacense para el tratamiento de aguas residuales domésticas, en una primera etapa, y para aguas residuales industriales en una segunda etapa, en su sede experimental de Usme.





HUMEDALES

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos (Figura 1). Se caracterizan por su gran valor ecológico, ya que al tratarse de un medio terrestre-acuático, permiten la presencia de gran variedad de especies, tanto de flora como de fauna y de microorganismos en general.

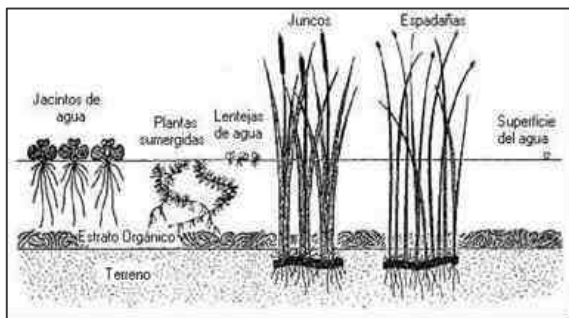


Figura 1 - Humedales naturales

En los humedales la vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.

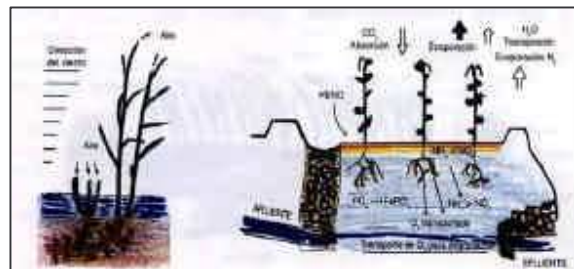
Las interacciones que se presentan en los humedales naturales los convierten en lugares

de almacenamiento y depuración de aguas, gracias a la acción de vegetación que en ellos se genera. Las raíces y tallos sumergidos sirven de soporte a las bacterias y mejoran la capacidad de absorción y filtración del suelo, los tallos superficiales atenúan la radiación solar, la menor penetración de luz controla el crecimiento de algas e interviene en la transferencia de oxígeno a la masa de agua. Los sedimentos funcionan saturados continuamente, por lo tanto el ambiente es generalmente anóxico, debido a la poca disponibilidad de oxígeno, condición que permite reducir las concentraciones de nitrógeno en el agua y la consiguiente eutrofización de los cuerpos de agua a los que el humedal alimenta.

El movimiento de oxígeno interno en las plantas permite la respiración de los tejidos enterrados y también oxigena la rizósfera a través de la filtración de este, desde las raíces hacia el exterior, creando condiciones de oxidación en el medio anaerobio, estimulando la degradación aerobia de la materia orgánica, actuando paralelamente en la nitrificación.

Adicionalmente los humedales son excelentes sistemas naturales de tratamiento de agua debido a que fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica y transforman los elementos por intermedio de los microorganismos.

En la figura 2 se esquematizan los procesos biocinéticos que se llevan a cabo en humedales



Flujo convectivo en Phragmites Australis

Absorción y transpiración de gases





HUMEDALES ARTIFICIALES

Como ya se mencionó anteriormente los humedales son excelentes sistemas de tratamiento de aguas residuales, razón por la que a través de los humedales artificiales se busca imitar los procesos que se dan en los ecosistemas naturales con el fin de lograr altos niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Los humedales artificiales son aquellos construidos por el ser humano manipulando los componentes que generan la diversidad de interacciones de los humedales naturales, consisten en el diseño correcto de un canal que contiene agua, sustrato, medio de soporte y por lo general plantas emergentes, otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente.

Estos sistemas han sido reconocidos como excelentes sistemas de depuración de aguas residuales, en especial en lo relacionado con DBO5, SS y nitrógeno, para los cuales se obtienen rendimientos superiores al 80%, también son eficientes para remoción de metales, trazas orgánicas y patógenos.

Un componente importante de los humedales es la vegetación pues a ella se debe buena parte de la remoción de nutrientes y metales, además de ofrecer una importante superficie de soporte para los microorganismos, encargados principalmente de la remoción de materia orgánica. De acuerdo a su ubicación la vegetación puede ser emergente, flotante y sumergida. Las mismas especies vegetales se usan en los dos tipos de humedales artificiales.

Los humedales se clasifican de acuerdo con el tipo de flujo. Pueden ser Sistemas a Flujo Libre (FWS) y Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS). Un esquema de estos sistemas se ve en las figuras 3a. y 3b., respectivamente.



Figura 3 a. FWS

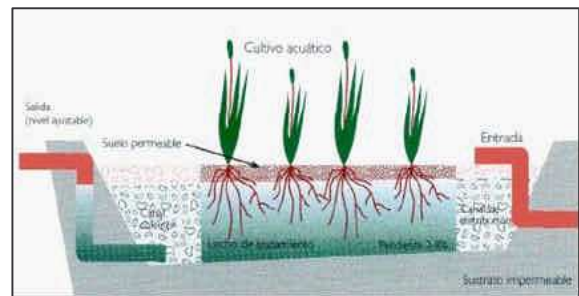


Figura 3 b. SFS

Los humedales superficiales se construyen canales estrechos e impermeables de gran longitud, con profundidades pequeñas, baja velocidad de desplazamiento de la masa de agua y bajo el régimen de flujo de pistón. El agua fluye con la lámina de agua por encima del lecho y entre los tallos de las especies emergentes. En los humedales de flujo subsuperficial, se construyen canales de lecho filtrante a través de los cuales se hace pasar el caudal de agua residual sin que la altura de la lámina de agua sobrepase la superficie del material de relleno. La profundidad del lecho es función de la penetración de las raíces y varía entre 30 y 90 cms.

En humedales artificiales convencionales de tipo FWS al agua residual se le debe hacer un pretratamiento antes de entrar al sistema donde fluye de forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a





través de los tallos y raíces de la vegetación emergente.

El uso de los SFS tiene varias ventajas, relacionadas especialmente con el lecho de grava que permite mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Además como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. Tampoco se presentan inconvenientes con el acceso de público, así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

En nuestro país se destacan las investigaciones realizadas en la utilización de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en el país por humedales artificiales hechas por Arjona, 1987) y (Baena, 1986) quienes utilizaron especies de pastos con la técnica de la película nutriente para el tratamiento de aguas residuales domésticas, y el de (López, 1998) quien estudia varias especies de pastos para el tratamiento de aguas residuales del beneficio del café, ambos con resultados alentadores.

También merece especial mención los trabajos realizados por la Fundación Manuel Mejía de la Federación Nacional de Cafeteros, en el municipio de Chinchiná (Caldas) que realizó en 1997 un seguimiento y evaluación del prototipo de Estación depuradora de aguas residuales domésticas (EDAR) utilizando plantas acuáticas con los siguientes resultados: remoción de DQO y DBO₅ superiores al 90%, en sólidos totales 86% y mayores del 99% en remoción de microorganismos conforme (Grueso, 1997).

Adicionalmente La Universidad Javeriana ha adelantado dos trabajos de grado utilizando Un sistema biológico combinado de microalgas y macrófitas para el tratamiento de aguas residuales y Un sistema de microalgas para

el tratamiento de aguas residuales industriales (Colciencias, 2001).

Sanabria en 1995, presenta el diseño básico de un humedal para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el corregimiento de La Pedrera (Amazonas), comentando que se viabiliza su implementación desde el punto de vista ecológico, debido a la naturalidad del acabado del humedal que juega con el contorno selvático sin potenciar los impactos visuales de este tipo de obras. El diseño consistió en un humedal artificial en forma de canal trapezoidal, relleno con grava y con pendiente mínima del 1%. El detalle del diseño de este humedal artificial puede observarse en el Documento "Atención a colectivos humanos en la región amazónica colombiana - Vol 2. Sanabria & Carrillo, UNAL, 1995".

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, en el año 2000, publicó una serie de cartillas sobre la Cultura del Agua, dentro de las cuales, la número 3 corresponde a humedales artificiales como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas.

El Centro Nacional del Agua CENAGUA, entidad de apoyo de ACODAL, ha realizado en los últimos años algunos seminarios sobre el tema de depuración de aguas residuales con humedales artificiales, contando con la participación de expertos internacionales y un buen número de organizaciones y particulares nacionales, que dejan ver la importancia de este desarrollo para el país.

HUMEDALES DE ALTA TASA

La mayor ventaja de los sistemas SFS es que requieren menor área que los FWS, sin embargo el ahorro en área genera mayores gastos en lo relacionado con la consecución y disposición del material granular en el lecho. Razón por la que es improbable que un sistema SFS sea competitivo desde el punto de vista de costos, frente a uno FWS para pequeñas comunidades y caudales, pero esto siempre dependerá de los costos de la tierra, el tipo de





impermeabilización que se requiera y el tipo y disponibilidad del material granular empleado.

El área puede disminuirse aún más al utilizar medios que ofrezcan mayores superficies específicas que la grava, que es el material granular tradicionalmente utilizado. El tener medios de soporte con grandes superficies específicas permitirá disminuir aún más el área requerida para el humedal y mejorar la eficiencia de depuración, condiciones que se traducen en mayor competitividad económica.

La literatura no reporta el uso de materiales plásticos para los humedales artificiales, a pesar que actualmente la configuración de los rellenos para los biofiltros horizontales y verticales (la biofiltración se considera uno de los procesos fundamentales que se llevan a cabo dentro del humedal) los utiliza comúnmente, por la virtud de su superficie específica en el crecimiento de las biopelículas activas. La utilización de materiales plásticos en la depuración de las ARU se considera una evolución, porque las eficiencias logradas con reactores que los utilizan, así lo justifican.

El uso de medios de soporte plástico de forma elipsoidal desarrollados por el Dr. Otoniel Sanabria y su grupo de investigación en la Universidad Nacional de Colombia acrecientan y facilitan la fijación de biopelícula en volúmenes propicios permitiendo obtener eficiencias de más del 90% en remoción de DBO y de patógenos. La grava, regularmente utilizada, ofrece una superficie 50 a 60 m²/m³, mientras que cada uno de los dispositivos consigue adherir 350 m²/m³ de lama, cualidad que abarata costos y por su eficiencia lo hace comparable con los sistemas convencionales de depuración de aguas como los lodos activados, filtros percoladores o lagunas de estabilización. Estos sistemas se están utilizando con éxito en Restrepo y Cumaral, en el departamento del Meta.

El grupo de investigación GRESIA de la

Universidad Antonio Nariño desarrolla un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando medios de soporte plástico y macrófitas nativas del altiplano cundiboyacense en su sede de Usme. Las aguas residuales son sometidas a un pretratamiento anaerobio en el cual se produce la hidrólisis y acidogénesis primaria, después de este proceso las aguas residuales se tratan a través de varios sistemas de humedales FWS de alta tasa, que utilizan los medios de soporte plástico mencionados y diferentes especies de macrófitas nativa, sistema en el cual se logra el afinamiento del proceso, donde la adsorción y absorción, la filtración, el atrapamiento, la reacción biológica, química y la sedimentación particulada son los procesos involucrados. Las macrófitas coadyuvan al proceso mediante la absorción directa de contaminantes por sus raíces, por el aporte de oxígeno a la masa de agua y por el entramado filtrante que aporta al medio. Un esquema del sistema se puede ver en la figura 4.

Una ventaja adicional es el casi inexistente mantenimiento debido a que la purga de lodos estabilizados se hace cada dos o tres años y el control que durante el arranque debe hacerse en todo tipo de reactores y en el desarrollo de investigaciones que posteriormente se realicen sobre el proceso mismo.

COMENTARIOS ADICIONALES

Esta investigación se considera un primer paso en la búsqueda de soluciones ambientalmente sostenibles, armónicas con el entorno, simples en tecnología, económicas para las comunidades y que aportan al conocimiento universal en las tecnologías de tratamiento de residuos en pequeñas comunidades donde comúnmente no se realiza depuración alguna.

Este trabajo es consecuente con las políticas que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) ha establecido para los próximos años en Colombia.



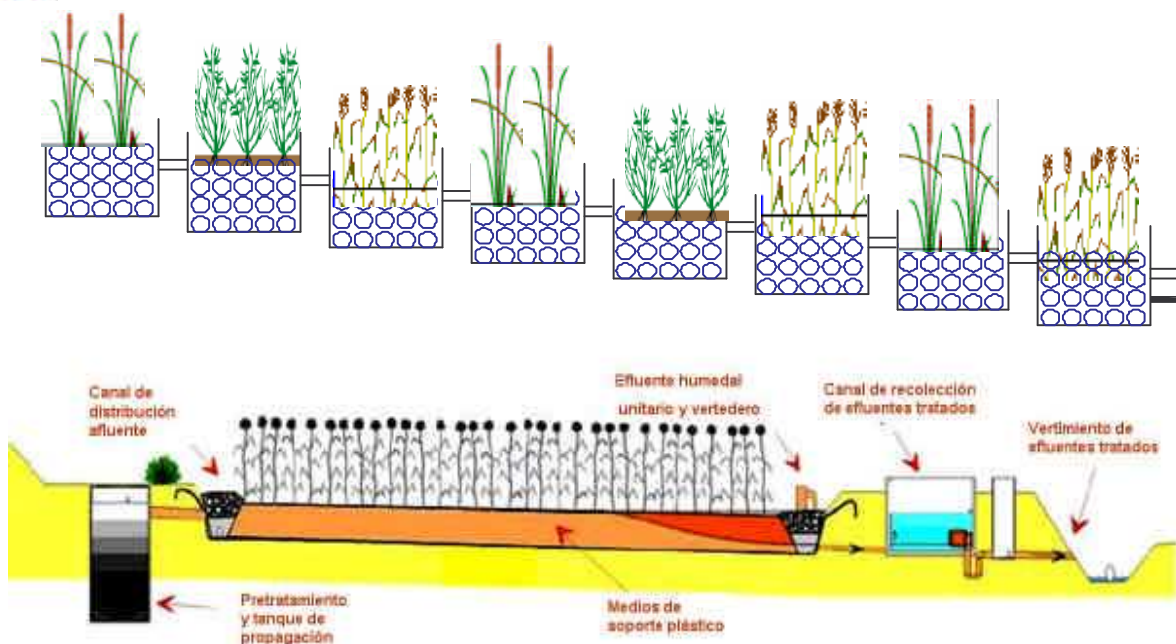


Figura 4. Esquema del humedal construido en la sede Usme de la UAN.

Dentro de los aportes mas significativos del trabajo realizado por la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UAN es la utilización de una tecnología avanzada, completamente novedosa en el mundo, desarrollada netamente con conocimiento nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARJONA B. Evaluación de un cultivo hidropónico de *Penniswetum clandestinum* como tratamiento biológico de aguas residuales domesticas. Universidad Nacional de Colombia, Tesis de grado Biología, 1987.
- BAENA S. Evaluación del poder depurador de la técnica de película nutriente en la estación de bombeo de aguas residuales El Salitre. Universidad Javeriana, Tesis de grado Biología, 1986.
- COLCIENCIAS, Página WEB. Octubre del 2001.
- COLLADO L. R. La lenteja de agua como sistema blando de depuración de aguas residuales de bajo coste, en *Tecnología del Agua* No. 174Cano A. A. marzo de 1998, pg 18-25.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. *Desing Manual Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment U.S.* 1988
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. *Handbook of constructed wetlands U.S.*
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: A Technology assessment U.S.* 1993.
- ESTEVEZ S.F. *Diseño y explotación de sistemas de depuración de aguas residuales en pequeños núcleos y comunidades*, Asociación nacional de químicos españoles, Agrupación territorial de Castilla la Mancha, Sección técnica de medio ambiente.





- GOMEZ RESTREPO, Alvaro Roy. Tesis de grado Ingeniería Ambiental., 2000
- GUTIERREZ M. ALVARO M. depuración de aguas residuales domésticas e industriales utilizando especies macrófitas nativas en la granja integral de usme de la uan. UAN. 2004
- GRUESO VANEGAS, José Ramón y Lorenza María JARAMILLO GOMEZ, Seguimiento y Evaluación del Prototipo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Fundación Manuel Mejía, Convenio Federación Nacional de Cafeteros-Consejo Británico. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Carrera de Ingeniería Química, Trabajo de Grado. 1997.
- HARBERL R., PERFLER R., LABER J., COOPER P. Wetland systems for water pollution control., 1996, en Water Science and Technology Vol 35, No 5, 1997.
- JHON WILLWY & SONS DROSTE, RONALD L. Theory and practice of water and wastewater treatment, , 1997.
- KADLEC R.H., BRIX H. Wetland systems for water pollution control 1994, en Water Science and Technology Vol 32, No 3, 1995.
- KADLEC R. H, KNIGHT R.L, Treatment Wetlands, CRC Press, 1996.
- MARTÍNEZ M, Depuración de aguas con plantas emergentes, en Hojas Divulgadoras, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1989.
- LARA BORRERO J.A. Depuración de aguas residuales con humedales artificiales. Universidad Politécnica de Cataluña. 1998
- METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y, 3ª Ed, McGraw-Hill, 1995.
- LOPEZ M., P. MOLINA. Ensayos hidropónicos exploratorios para depurar aguas del beneficio del café. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Grado Química, 1998.
- REED S.C, CRITES R.W. Natural systems for waste management and treatment, Middlebrooks, E.J, 2ª Ed, McGraw-Hill, 1995.
- RICHMOND BAVOR H,J.,D. J. ROSER, P. J. FISHER Y J. C., NSW. Smalls, Joint Study on Sewage Treatment Using Shallow Lagoon-Aquatic Plant Systems, Water Research Laboratory Agricultural College, , Australia, 1986
- SANABRIA, Otoniel. Proyecto HUMEDAR I. Universidad Nacional de Colombia. 2004
- SEOANEZ C. M. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento, Mundi Prensa, 1995.
- WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WEF), ALEXANDRIA. Natural Systems for Wastewater Treatment, Manual Of Practice Reed, S. C., FD-16, VA, 1990.

