

Tratamiento y Aprovechamiento de Aguas Residuales con Residuos Orgánicos para el Cultivo de Especies Vegetales Promisorias y la Obtención de Alimento Fresco en la Acuicultura

Ramiro Castaño M.*
Mauricio Valencia H.**

* *Biólogo.*

Correo electrónico:

ramaca008@hotmail.com

** *Ingeniero Sanitario y Ambiental.*

Correo electrónico:

mauriziovalencia@gmail.com

Resumen

A través de un proceso investigativo con varias comunidades campesinas acuicultoras, los autores buscan validar una propuesta de manejo y utilización de los residuos orgánicos presentes en aguas residuales domésticas y agroindustriales, que permita proporcionar una solución de bajo costo y técnicamente eficiente para los graves problemas de saneamiento básico de las poblaciones rurales de Antioquia, y a la vez fortalecer su actividad productiva. Esta propuesta consiste en la instalación de un sistema de humedales artificiales o biofiltros (en inglés Subsurface Wetland-System Filter –SWF–), del cual el último estanque es aprovechado para obtener microorganismos zooplanctónicos, que se podrán utilizar como alimento vivo dentro de un sistema de producción acuícola. Igualmente, esta infraestructura se puede aprovechar para la producción de especies vegetales promisorias, como fuente de biocombustible, o para siembra de plantas ornamentales. De esta manera, el proyecto aporta al bienestar de las comunidades rurales desde una perspectiva ambiental, social y económica, y contribuye al desarrollo sostenible de la región.

Sewage Treatment and Exploitation Using Organic Waste to Grow Promissory Vegetable Species and Obtain Fresh Food through Aquaculture

Abstract

Through a research process on various aquaculture farming communities, the authors intend to validate a proposal for management and use of organic waste in domestic and agro-industrial wastewater, allowing to provide an affordable and technically efficient solution to the serious basic sanitation issues facing rural populations in Antioquia, while strengthening their productive activities. This proposal consists of installing a system of artificial wetlands with biofilters or Subsurface Wetland-System Filter –SWF–, from which the last pond is used to obtain zooplanktonic microorganisms, which could be used as living food within an underwater production system. Similarly, this infrastructure can be put to good use for the production of promising vegetable species to be used as a source of bio-fuels, or to grow ornamental plants. Thus, this project contributes to the welfare of rural communities from environmental, social and economic perspectives, and helps to sustainable development in the regions.

Palabras clave:

Sistema de tratamiento de aguas residuales, humedal artificial, biofiltro, acuicultura, alimento vivo, especies vegetales promisorias, comunidad rural.

Keywords:

Sewage treatment system, artificial wetlands, bio-filter, aquaculture, living food, promising vegetable species, rural community.

En nuestro país, y en particular en Antioquia, las condiciones ambientales y de saneamiento básico de las comunidades rurales presentan un deterioro notorio, debido a la improvisación y el inadecuado enfoque de las soluciones y a la politizada e inconsistente intervención estatal al afrontar esta problemática, una intervención que se esperaba fuera integral y efectiva, con objetivos claros y metas cumplibles, sin que se sueñe más allá de lo posible.

Los índices de pobreza de las comunidades en estas áreas son altos, y ni qué hablar de la cobertura de servicios básicos, acueductos y alcantarillados: son poblaciones que carecen de sistemas de potabilización de agua, y de sistemas de tratamiento de aguas residuales; además, se presentan dificultades por conflictos armados y la inexistencia de una economía estable y productiva que ayude a mejorar sus condiciones de vida. Con el fin de contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de estas comunidades, nos propusimos ofrecerles una solución que articule de forma integral el tratamiento de aguas residuales domésticas



y la producción piscícola, con el compromiso ambiental de producción más limpia y desarrollo sostenible.

De manera específica, queremos fomentar el uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales no convencionales a bajo costo y de doble propósito, para la producción de biocombustibles y especies vegetales promisorias. Igualmente, pretendemos mejorar la calidad de las aguas residuales provenientes de la agroindustria porcícola, cunícola y avícola, y aprovecharlas en el cultivo de organismos del plancton; esto significa capacitar a los acuicultores en el proceso de cultivo, selección y captura de organismos planctónicos, mediante el manejo y tratamiento previo de las aguas servidas provenientes de estos usos pecuarios. Es esencial que estas propuestas a las comunidades rurales integren un componente de mejoramiento ambiental (manejo de aguas, estabilización de taludes, educación ambiental, proyectos productivos), que redunde en la protección ambiental y el fomento de una economía estable para ellas. Así, mediante el impulso de Buenas Prácticas Productivas, lo que pretendemos es generar unos efectos ambientales y sociales con beneficios económicos y alimentarios para la población rural.

Retos de la acuicultura en comunidades rurales

La producción en piscicultivos de estanques es una práctica que ha venido ganando interés entre los pequeños y medianos productores agropecuarios de las regiones hídricamente más favorecidas de Antioquia, y que además cuenta con algunos apoyos por parte de las autoridades



Siembra de juveniles en estanque. Estación piscícola de San Jerónimo, Antioquia.

locales a través de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria –UMATA–. En nuestro departamento, se ha venido incrementando el cultivo de diversas especies ícticas que, además de despertar interés comercial, constituyen un valioso recurso nutricional, propician la diversificación en la producción de alimentos y contribuyen al mantenimiento de la soberanía alimentaria y el autoabastecimiento de las comunidades rurales.

En estos sistemas de producción, una etapa crucial, la del larvicultivo, se ocupa de la obtención y mantenimiento de las pequeñas crías de peces. Su adecuada alimentación es vital para poder mantener estables las poblaciones de levante y reproducción, que son las que finalmente se pueden utilizar como recurso alimenticio o económico por el piscicultor.

El suministro de alimento para obtener alevinos y juveniles en acuicultura representa para el campesino productor una inversión costosa por los altos precios de insumos y equipos. En la mayoría de los casos, los piscicultores dependen del suministro de concentrados especiales y organismos precultivados y mantenidos en suspensión, casi siempre importados o, en el mejor de los casos, de

producción nacional, pero de resultados no muy satisfactorios por la poca aceptación que tienen cuando se utilizan como alimento, lo cual afecta las tasas de desarrollo y supervivencia, así como la calidad de los organismos que los consumen; entonces, además de costosos, no brindan las mejores condiciones nutricionales, de movilidad y palatabilidad para los pequeños peces (Prieto et al., 2006).

Por eso la producción de alimento vivo (biomasa planctónica) para complementar o incluso sustituir dichos insumos, se presenta como una magnífica alternativa, toda vez que una importante porción de ellos la conforman organismos móviles que son preferidos por las pequeñas larvas de peces y se pueden criar aprovechando los residuos orgánicos que se generan en la misma parcela (FAO, 1996, p. 274). El manejo inadecuado de tales residuos, casi siempre descargados directamente a las quebradas o pequeñas corrientes que suministran el agua de consumo humano en la región, y que además surten los estanques de cría, ha representado un problema ambiental considerable por la carga de contaminación para la red hidrográfica local, lo que causa en las fuentes procesos de eutrofización y pérdida de biodiversidad.

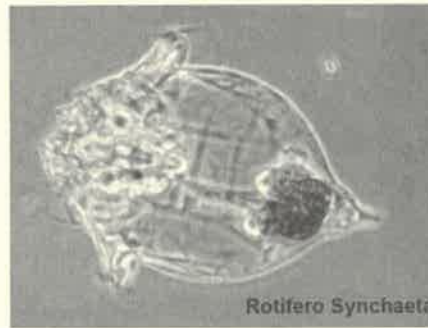
Una gran variedad de algas y microcrustáceos hacen parte de la dieta alimenticia de peces recién eclosionados en su medio natural (Prieto et al., 2006). Estos organismos del plancton se desarrollan favorablemente en presencia de nutrientes, los cuales pueden ser aportados por los desechos y excrementos provenientes de los lugares de cría de cerdos, cabras, conejos, aves de corral y aun de los mismos peces.



Gastrotricho Chaetonotus



Rotífero Filina longisetia



Rotífero Synchaeta



Rotífero Asplanchna

Muestra al microscopio de organismos del zooplancton.

Estos materiales, evacuados en forma de aguas residuales debidamente conducidas, pueden ser sometidos a procesos de filtración, sedimentación y digestión para obtener aguas fertilizadas, las cuales sirven tanto para la producción agrícola de especies vegetales promisorias (floricultivos, pastos forrajeros, biocombustibles) como de medio de cultivo de organismos del plancton que, una vez en desarrollo, pueden seleccionarse para alimentar los primeros estadios de peces y otras especies de interés para la acuicultura (Barnabé, 1996, p. 69).

La cría de microorganismos como microalgas, protozoos, rotíferos y copépodos en sistemas denominados mesocosmos, constituye actualmente una exitosa alternativa para la acuicultura, ya que se reconoce como una de las fuentes de alimento vivo más importante. (Bernabé, 1996; Prieto et al., 2006; Prieto et al., 2008). En una prueba para el cultivo masivo de rotíferos (Ismiño, 2003, citado

en Prieto 2008), se concluyó que éste se podía adoptar como una alternativa eficiente para obtener una elevada supervivencia de larvas de peces, ya que presenta ventajas de cultivo a gran escala y a muy bajo costo. De igual manera, la preocupación por la preservación y recuperación de las fuentes de agua para el uso y consumo humano ha llevado al rescate de antiguas prácticas agrícolas y al desarrollo de técnicas de depuración y aprovechamiento de aguas residuales (Pardo et al., 2006; González et al., 2001; OMS, 1989).

Tratamiento de aguas residuales para potenciar actividades de acuicultura y agricultura

En vista de la preocupación que existe en nuestro departamento por el tratamiento de aguas residuales, tanto agroindustriales como domésticas, el proyecto pretende efectuar investigaciones sobre el uso de humedales

artificiales con este propósito, y aspira a implementar sistemas de plantas piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas y agroindustriales en los municipios de Antioquia, con el objetivo de proporcionar una alternativa técnicamente eficiente y de bajo costo. El tipo de humedal propuesto es conocido en inglés como *Subsurface Wetland-System Filter (SWF)*, lo que podría traducirse como “sistema de humedal artificial o biofiltro”. De ser necesario, es posible además utilizar dicha infraestructura para la estabilización de taludes y recuperación de suelos, así como para la producción agrícola de biocombustibles y especies vegetales promisorias y la cría de alimento vivo para la producción piscícola.

Concretamente, mediante la aplicación de un coagulante de origen orgánico, las aguas son intervenidas en un pretratamiento para después hacerlas circular a través de un sistema de estanques con condiciones de luz y ventilación naturales; en el último estanque se obtienen y seleccionan microorganismos zooplanctónicos que hacen parte de la biomasa producida por este sistema de fertilización, y que luego se utilizarán como alimento vivo en un sistema de producción acuícola o piscícola.

Desde el comienzo, se efectuarán monitoreos continuos para determinar la eficiencia de remoción de diferentes parámetros contaminantes (según el Decreto 3930/2010) y el comportamiento del sistema en el tiempo. Además, se desarrollarán otras investigaciones conexas que permitirán establecer los principales criterios de diseño bajo las condiciones locales, que incluyen el uso de materiales para relleno del lecho filtrante, el aprovechamiento de plantas



Ejemplo de pequeños humedales actualmente en funcionamiento en Mutatá, Antioquia.

macrófitas de la región y la evaluación de parámetros limnológicos de importancia. Asimismo, se establecerán las actividades de operación y mantenimiento del sistema y la estimación de los costos de construcción, operación y mantenimiento; se incluirá también el componente del reúso, mediante la realización de un estudio de irrigación de productos agrícolas y pecuarios con el efluente del biofiltro.

Este proyecto se puede desarrollar con cualquier comunidad que necesite mejorar sus condiciones de saneamiento básico y presente problemáticas ambientales. Se dirige de manera específica a pequeñas comunidades rurales que carecen de sistemas de tratamiento y recolección de aguas servidas y además quieren o necesitan mejorar su economía con la actividad productiva piscícola.

El proyecto responde a una dificultad a la cual, lo hemos mencionado, se enfrentan los acuicultores en el abastecimiento del recurso alimenticio necesario para la producción piscícola. Abre oportunidades y una nueva alternativa en nuestra región para el manejo de la piscicultura, en relación con la alimentación de peces de cultivo. El sistema puede ser compatible además con las condiciones actuales de producción en estanque, y sólo

requiere unas adaptaciones de sitios de cultivo y de técnicas de manejo de las aguas y de los organismos de cultivo.

Estos humedales también permiten la obtención de subproductos ecológicos, tales como biocombustibles y especies vegetales promisorias. Además, tienen un gran beneficio ambiental, y es evitar que aguas residuales enriquecidas de nutrientes principalmente orgánicos se descarguen en corrientes de agua limpia, comúnmente utilizadas aguas abajo como fuente de consumo por las comunidades asentadas en su área de influencia.

La implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales presenta la ventaja de tener un bajo costo, ser de fácil operación y mantenimiento, y requerir materiales que se encuentran en la misma zona y una mínima capacitación para la población campesina interesada.

Metodología

Consideraciones metodológicas

Cada proyecto tiene sus particularidades metodológicas en función de las características de la región, tales como los hábitos culturales y costumbres de la población, las condiciones



climatológicas y de suelos, y la disponibilidad de recursos hídricos.

Antes de iniciar el proyecto, se debe realizar una evaluación de la población donde se implementará la propuesta, incentivar la participación comunitaria y la apropiación y comprometer a actores y beneficiarios.

Para la construcción e implementación del proyecto, se dispondrá de un espacio de terreno suficiente y previamente adecuado. Se diseñará e instalará un sistema de recolección de aguas no convencional y de bajo costo. Para la instalación del sistema SWF, se construirán un canal de entrada, un sedimentador convencional, un digestor anaerobio y un biofiltro. Además de los materiales y equipos necesarios para el cultivo de peces, se requiere adecuar un sistema de estanques para el pretratamiento de las aguas servidas y para el cultivo del plancton, y asegurarse algunos insumos como redes, mangueras, tanques y baldes.

Información requerida

La realización de las obras de construcción del sistema de tratamiento requiere que se haya recogido una información previa:

- Topografía del terreno seleccionado.
- Datos climatológicos de la región: temperatura, precipitación, radiación solar, dirección del viento, etc.
- Estudio de suelo con datos geotécnicos.
- Capacidad de soporte, clasificación del suelo, granulometría de los estratos, punto de saturación, índice de plasticidad, etc.
- Planos de la urbanización actual y su desarrollo en el futuro (caudal de diseño).
- Cota final del alcantarillado.
- Número de viviendas para conectar al sistema (industrias, comercio) y tasa de crecimiento poblacional en los próximos 20 años.
- Características del agua residual (parámetros según norma nacional: muestreo).
- Tipos de material filtrante adecuado y distancia al banco de material (costos).
- Tipos de macrófitas de la zona o especies promisorias.
- Dimensiones de las obras: pretratamiento y bandejas de

- humedal (profundidad, largo y ancho).
- Número de bandejas para el sistema de humedal (siempre dos bandejas mínimo).
- Eficiencia del sistema por etapa: remoción de contaminantes.
- Perfil hidráulico (se trata que sea por gravedad).
- Área requerida por persona equivalente (1,3-1,5 m²/PE @ 3-5 días de TRH) y del sistema total.
- Tipo y tamaño de las obras para la distribución y recolección de las aguas del humedal.
- Canal de distribución/tubería de recolección.
- Inclinação de los taludes de las pilas de los biofiltros (1:1 - 1:1,5).
- Obras para el desvío de aguas pluviales (canales naturales o bermas).
- Material grueso de los cuerpos de entrada y salida de las pilas (de 4 pulgadas).
- Material del lecho filtrante para el relleno y soporte del humedal (material grueso/lecho filtrante principal).
- Material y espesor de la capa impermeable.

Consideraciones técnicas

1) Movimiento de tierra e impermeabilización

El movimiento de tierra, corte y relleno se hace con tractor de oruga, y el material removido se utiliza en capas compactadas para la conformación de las bermas. Se perfilan los taludes con motoniveladora, se ajusta el grado de humedad (cisterna de agua o pipa) y se compacta el terreno con una vibrocompactadora. Es de suma importancia efectuar pruebas de compactación (100% densidad Proctor) del material

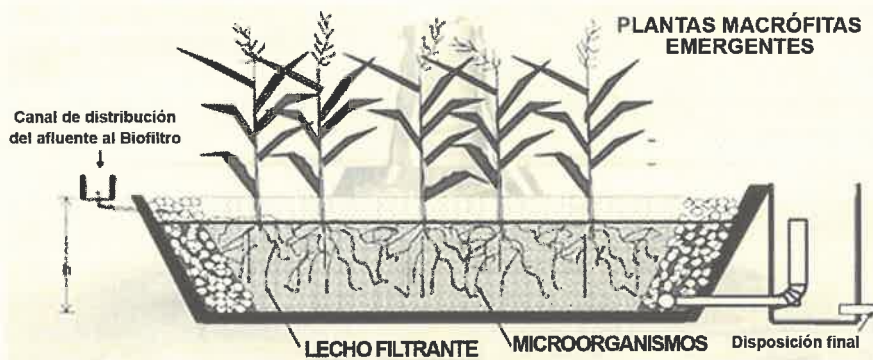


Figura 1. Esquema general de un humedal artificial (SWF), con sus componentes básicos.



de base. Luego se procede a la impermeabilización del sistema (fondo y taludes): mínimo 25 cm con arcilla/barro; nivelación, humedecimiento y compactación al 90% densidad Proctor:

- Permeabilidad suficiente-mente baja, menor de 10-6 cm/seg.
- Índice de plasticidad medianamente plástico (mayor de 15%).
- Límite líquido mayor de 55%.

2) Instalación del material de soporte

Se utiliza el material grueso en las zonas de distribución y recolección del agua: 4 pulgadas (10 cm); se acomoda de manera manual desde la orilla de los taludes.

El lecho filtrante principal tiene que cumplir con las siguientes exigencias:

- Alta resistencia contra el desgaste químico por las aguas residuales.
- Tener una superficie rugosa, que es la base para el establecimiento de una capa bacteriana apropiada.

- Dureza suficientemente alta para no quebrarse con el peso de una persona o equipos livianos.
- Porosidad: 40-60%, conductividad hidráulica (kf): 10-2 – 10-3 m/s (material nuevo).
- Grava/arena gruesa, hormigón/piedra volcánica, piedra triturada.
- El material del lecho filtrante se puede depositar dentro de la pila en camiones volquete o cargadora frontal, evitando que el equipo pesado circule sobre este. El material se debe adecuar a su nivel y estado final solamente con equipos manuales livianos (carretilla, pala, etc.).
- Nivelación del lecho filtrante (superficie plana).

3) Plantas para la siembra

Se seleccionan las plantas de acuerdo con la eficiencia de remoción que proporcionan o con algún tipo de provecho que se quiera obtener de ellas.

Se tiene información fundamentada sobre el uso de plantas como el platanillo (*heliconia*), zacate taiwán (*Pennisetum purpureum*), carrizo (*Phragmites australis*), tule (*Typha domingüensis*), *Cyperus articulatus* y la hierba cinta (*Phalaris arundinacea*).

El carrizo (*Phragmites australis*), por su mayor capacidad de introducir oxígeno al lecho filtrante a través de las raíces, proporciona la mayor eficiencia de remoción de contaminantes. Es la planta más conveniente cuando se desea remover en mayor medida gérmenes patógenos. Si hay presencia de metales pesados en las aguas residuales, *Phragmites* spp. y *Typha* spp. (tule) son las plantas que los remueven en mayor cantidad

(Cooper et al., 1996). El platanillo y otras plantas de la familia de las heliconias se pueden seleccionar con propósitos ornamentales, pues producen hermosas flores de diferentes colores. El zacate taiwán se puede utilizar como alimento de ganado vacuno, mientras el tule y la hierba cinta permiten obtener materia prima para la elaboración de artesanías. Para la producción de platanillo y tule se establece un vivero, y cuando la planta alcanza un tamaño mínimo de 8 pulgadas (con un crecimiento adecuado de las raíces), se trasplanta al biofiltro donde se siembra en surcos a una distancia de 60 cm entre filas y columnas. La profundidad de siembra es de 10 cm, profundidad a la que debe estar el nivel de agua dentro del biofiltro al momento del arranque.

La siembra del carrizo y el zacate taiwán se realiza mediante trozos de tallo de 15 a 20 cm de longitud, que contengan 3 nodos cada uno, a una profundidad de 3 o 4 cm sobre el espejo de agua, se depositan 3 estacas juntas en cada punto de siembra. La distancia entre filas y columnas es de 1 m. Para que el carrizo se desarrolle satisfactoriamente es necesario que el lecho filtrante permanezca saturado de agua todo el tiempo.

4) Últimos requisitos

Antes de instalar el sistema de tratamiento para la producción, es necesario llevar a cabo unas pruebas piloto para evaluar el tiempo de retención del agua, caracterizar su contenido orgánico y hacer la valoración cualitativa de los microorganismos desarrollados, e identificar los materiales filtrantes del humedal y el tipo de material vegetal o especie promisoría aptos para la zona.

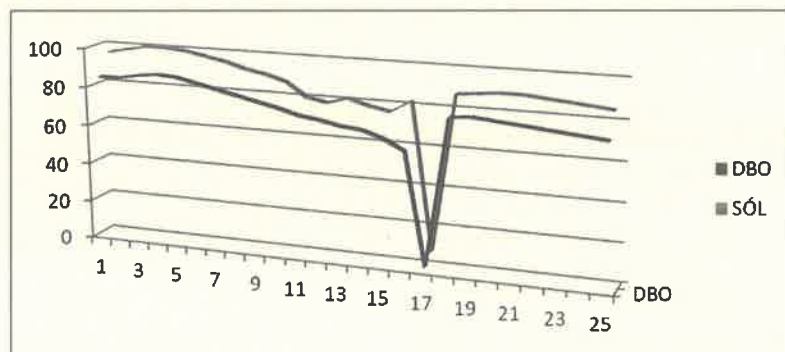


Figura 2. Gráfica de remociones esperadas de contaminantes (Demanda Biológica de Oxígeno –DBO– vs sólidos)

Se debe realizar además una adecuada disposición de lodos y residuos sólidos, de acuerdo con la normatividad vigente.

Finalmente, se requiere determinar la operación y mantenimiento de los sistemas, así como una evaluación y seguimiento de la eficiencia de remoción de contaminantes y productividad planctónica.

Conclusiones

Con la realización de este proyecto, se espera poder determinar la eficiencia del sistema de tratamiento para la remoción de la carga contaminante del efluente generado por el uso de aguas en el sector agroindustrial, que cumpla con la legislación ambiental existente y vigente en el país. Un resultado esperado del proceso de investigación es establecer la periodicidad de remoción del lecho filtrante, para garantizar la eficiencia y mantener la capacidad (velocidad de filtración) del sistema.

Se espera finalmente disponer de una tecnología de descontaminación que sea económica y ambientalmente apropiada para el manejo del efluente de aguas residuales domésticas y agroindustriales, y que favorezca la disminución en el pago de la tasa retributiva por vertimientos del proceso agroindustrial.

Referencias bibliográficas

Armstrong, W., Armstrong, J. and Beckett, P. M. (1990). Measurement and modeling of oxygen release from roots of *Phragmites australis*. In Cooper, P.F. and Findlater, B.C. (eds.). *Use of constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Oxford, UK: Pergamon Press.

Barnabé, G. (1996). *Bases biológicas y ecológicas de la acuicultura*. Madrid.

Bravo, M. y Juárez, E. (2002). Evaluación de un biofiltro de flujo vertical en serie con un biofiltro de flujo horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Monografía. UNI, Facultad de

Ingeniería Química, Managua. Castro, A. y Montoya, J. (2004). Determinación de las condiciones de operación para la remoción de nutrientes en la combinación de biofiltros vertical – horizontal. Monografía. UNI, Facultad de Ingeniería Química, Managua.

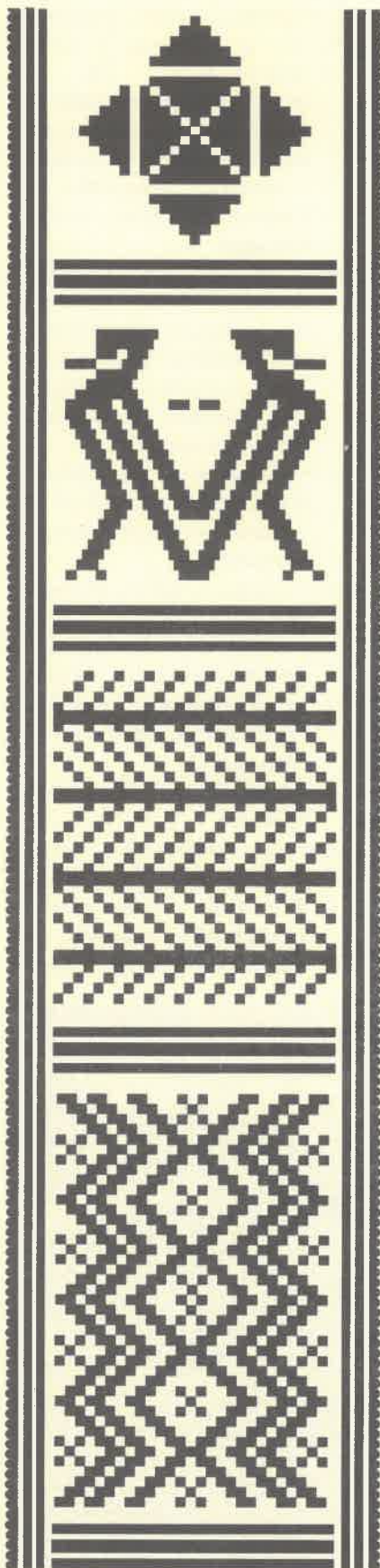
Chavarría, A. y Paiva F. (2003). Determinación de la cinética de remoción de diferentes contaminantes en biofiltros de flujo horizontal. Monografía. UNI, Facultad de Ingeniería Química, Managua.

FAO (1996). Manual on the production and use of life food for aquaculture. Fisheries Technical. Gent, Belgium.

López, Y. y Suazo, G. (2001). Evaluación de dos métodos para la identificación de Enteroparásitos Helmintos en aguas residuales domésticas crudas y tratadas por tres sistemas de tratamiento. Monografía. UNAN, Departamento de Biología, Managua.

Polprasert, C., Poh-Eng, L., Mattaraj, S., Khatiwada, N., Koottatep, T. (1996). Application of constructed wetlands for treatment of sewage in tropical





- region. In: 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, IWGA, Vienna, Austria.
- Prieto G. M., Castaño F., Sierra J., Logato P., Botero J. (2006). Alimento vivo en la larvicultura de peces marinos: copépodos y mesocosmos. *Rev. MVZ Córdoba, 11 Supl. (1)*, 30-36. Montería: Editorial Universidad de Córdoba.
- Prieto G. M. y Athencio G. V. (2008, mayo-agosto). Zooplancton en la larvicultura de peces neo-tropicales. *Revista MVZ Córdoba, 13 (2)*, 1415-1425. Montería: Editorial Universidad de Córdoba.
- Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., Crites, R.W. (1988). *Natural systems for waste management and treatment*. New York: McGraw Hill Inc.
- Romero R., J. A. (1993). Tratamiento de aguas residuales. Medellín: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sociedad de Agricultores de Colombia –SAC– (1998). Manual de capacitación en manejo ambiental fitosanitario. Bogotá. Bogotá: Convenio SENA - SAC.
- Soto B. M. (1991). Banano: cultivo y comercialización. San José, Costa Rica.
- Unión de Bananeros de Urabá –Unibán– (1998). Guía práctica para el cultivo del banano en Urabá. Medellín.
- Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias de la Salud (2000). Los agroquímicos en las aguas superficiales y subterráneas de la zona bananera de Urabá. Plan de Manejo. Medellín.
- Vymazal, J.; Brix, H.; Cooper, P.F.; Green, M.B.; Haberl, R. (1998). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers.