

EVALUACIÓN DE LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO COMBINADO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN Y LAGUNA CON JACINTO DE AGUA

EVALUATION OF WASTEWATER TREATMENT FROM EFFLUENTS OF AN INTEGRATED SYSTEM OF A STABILIZATION POND AND WATER HYACINTH POND

Alba Lucía Domínguez O.¹

Resumen

El objetivo de este estudio consistió en la verificación y cuantificación en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, nutrientes y sólidos en un agua residual piscícola, mediante el uso de jacinto de agua como un sistema de tratamiento secundario en Pereira (Colombia). Una laguna con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), en combinación con una laguna convencional de estabilización, es un atractivo sistema de tratamiento avanzado, especialmente en climas cálidos de áreas tropicales. Los datos experimentales obtenidos en la laguna de estabilización, frente a los obtenidos en la laguna con jacinto de agua, proporcionan una base comparativa de la eficiencia de remoción cuando se ha operado a diferentes tiempos de retención. Las lagunas de estudio tienen área superficial de 137 m² y profundidad de 1.9 m. Los efluentes provenientes del tratamiento de la laguna con jacinto presentaron una reducción del 78% en la DBO, del 80% en la DQO, del 40% en los SST y del 64% en NTK. Las concentraciones efluentes en DBO y SST de la laguna con jacinto satisfacen los límites establecidos para la descarga de aguas residuales en cuerpos de agua en Colombia. El problema de remoción del jacinto como el uso de la biomasa aún no ha sido resuelto a escala industrial.

Palabras clave: planta acuática, jacinto de agua, laguna de estabilización, agua residual, contaminantes.

Abstract

The objective of this paper is the verification and quantification of the reduction of biochemical oxygen demand, nutrients and suspended solids with the use of water hyacinths in secondary treatment of waste water fish hatchery in Pereira (Colombia). The water hyacinths (*Eichhornia crassipes*) pond is an attractive system for advanced treatment when used in combination with the conventional stabilization pond, specially in warm climates in tropical areas. The experimental data obtained in a stabilization pond gives a comparative idea of nutrient, SST and BOD removal efficiency front other pond utilized with water hyacinths, being operated with different detention time values. The ponds with a surface area of 137 m² and 1.9 m in depth was used. Hyacinth treatment effluents in the pond system, showed a reduction of 78% DBO, a removal of 80% DQO, 40% of SST and 64% of total kjeldahl-N. Concentrations of BOD and TSS in hyacinth pond effluents satisfied the established limits for waste water discharged into water bodies, in Colombia. The problem of water hyacinth removal and its use as biomass has not been solved at industrial level yet.

Key words: aquatic plan, water hyacinth, pond stabilization, wastewater, contaminants.

INTRODUCCIÓN

En el medio ambiente natural, cuando interactúan el agua, el suelo, las plantas, los microorga-

nismos y la atmósfera, se producen procesos físicos, químicos y biológicos, junto con procesos

Recibido: julio de 2000; aprobado para publicación: noviembre de 2000.

¹ Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, apartado 97, Pereira, Colombia. E-mail: aldomin@utp.edu.co.

propios de los sistemas de tratamiento natural tales como la fotosíntesis, la fotooxidación y la asimilación por parte de las plantas (Metcalf y Eddy 1996; Sherwood *et al.*, 1995).

Entre los sistemas de tratamiento natural se tienen los sistemas de tratamiento acuático consistentes en una o más lagunas poco profundas con plantas acuáticas, las cuales pueden ser flotantes, emergentes o sumergidas.

La presencia de plantas acuáticas, en vez de algas suspendidas, es la mayor diferencia física entre un sistema de tratamiento acuático y una laguna de estabilización. La laguna de estabilización es altamente efectiva en la población algal que puede ser removida en la descarga final. Sin embargo, la biomasa de las algas es usualmente arrastrada con el efluente, dando como resultado un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno y en los sólidos suspendidos totales, y generando un efluente con niveles de calidad no aceptables en estos parámetros (Stowell *et al.*, 1980). La presencia de plantas acuáticas impide la penetración de la luz solar en la columna de agua, inhibiendo el crecimiento de las algas y generando un efluente más claro.

Las plantas acuáticas flotantes, entre las cuales se encuentra el jacinto de agua, presentan la porción fotosintetizadora por encima de la superficie del agua, con sus raíces extendidas en la columna de agua. Durante la fotosíntesis, las plantas utilizan el dióxido de carbono de la atmósfera, mientras que los nutrientes los toman del agua a través de su raíz (Reed *et al.*, 1995). Las raíces de las plantas son un excelente medio para el proceso de filtración-adsorción de los sólidos suspendidos, así como el lugar especial para que se adhieran los microorganismos responsables de la degradación de los contaminantes (Tchobanoglous, 1987; Polprasert *et al.*, 1996).

En el sur de Francia, estas propiedades han sido continuamente monitoreadas para el tratamiento de efluentes industriales con características de residuales fuertes (De Casabianca, 1995). Investigaciones de la National Aeronautic and Space

Administration (NASA) con jacinto de agua, llevaron a su utilización desde 1975, para el tratamiento de todas las aguas residuales domésticas y químicas generadas por sus laboratorios (Wolverton y McDonald, 1982; Rodríguez, 1997).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del monitoreo realizado en un sistema combinado de laguna de estabilización y laguna con jacinto de agua. Esta última fue usada como un tratamiento secundario de las aguas residuales provenientes del cultivo y procesamiento de la trucha. Los efluentes de este sistema combinado son vertidos al río Barbo, afluente del río Otún, del cual aguas abajo se realiza la toma de agua para su potabilización y distribución a la ciudad de Pereira; de aquí la importancia del tratamiento adecuado de estas aguas residuales y su validación ante la Corporación Autónoma Regional del Risaralda (CARDER).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue realizado en la industria Pezfreco, ubicada a 20 km de la ciudad de Pereira (Colombia), donde existe el montaje de un sistema combinado de laguna de estabilización y laguna con jacinto para la depuración final de las aguas residuales procedentes del cultivo y del procesamiento de la trucha para exportación.

El sistema fue evaluado en tres etapas y monitoreado entre octubre de 1998 y octubre de 1999. Para evitar la infiltración, ambas lagunas se encuentran cubiertas totalmente con una geomembrana.

Las muestras fueron tomadas en las cajas de agua que se encuentran a la entrada y a la salida de cada laguna. Para determinar las características de las aguas residuales se realizaron muestreos integrados de cuatro horas. Las muestras puntuales se tomaron cada media hora y con ellas se conformó la muestra integrada tomando como base el caudal en el momento de la toma de muestra. Los parámetros operacionales fueron establecidos por el proceso piscícola.

Todos los parámetros químicos, físicos y bioquímicos fueron analizados de acuerdo con la metodología establecida en los métodos estándar (1995). Los parámetros analizados fueron: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total kjeldahl (NTK), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), fósforo total (PT), sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto (OD) y pH.

La densidad de planta establecida para el jacinto de agua fue de 10 kg/m² (peso húmedo), cosechándose cada nueve días. El peso seco del jacinto fue determinado a 70 °C por 48 horas. La temperatura del aire y del agua, así como la precipitación promedio mensual, fueron tomadas de la estación meteorológica de Pez fresco.

La eficiencia en la remoción de cada variable se estableció teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$\% \text{ remoción} = \frac{[\text{afluente}] - [\text{efluente}] \times 100}{[\text{afluente}]}$$

Tabla 1. Características de las aguas residuales afluentes y efluentes al sistema combinado laguna de estabilización-laguna con jacinto de agua. Primera etapa (octubre a diciembre de 1998)

		TR	CO ₂	CH	DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		NTK (mg/l)	N-NH ₃ (mg/l)	PT (mg/l)	ST (mg/l)	SST (mg/l)
					T	S	T	S					
Alimentación	X				86.00		150.00		12.60	5.60	2.80	197.00	32.00
	σ _{n-1}				40.60		69.80		6.95	2.24	1.65	90.70	24.40
	Máx				126.00		227.00		19.60	8.40	4.80	323.00	68.00
	Mín				41.00		76.00		4.20	2.90	1.30	124.00	15.00
	CV				47.00		46.00		55.00	40.00	58.00	46.00	76.00
Laguna de estabilización	X	0.30	325.00	3.80	75.00	58.00	158.80	86.00	13.30	3.80	2.90	200.00	45.80
	σ _{n-1}				26.90	6.10	81.60	17.60	4.80	1.20	1.40	99.90	21.60
	Máx				98.00	62.00	261.00	99.00	19.60	5.60	4.90	342.00	77.00
	Mín				40.00	40.00	91.00	74.00	8.40	2.80	1.60	114.00	28.00
	CV				36.00	10.00	51.00	20.00	36.00	32.00	48.00	50.00	47.00
Laguna con jacinto	X	0.30	284.00	3.80	52.30		112.00		11.60	4.00	2.05	148.00	33.00
	σ _{n-1}				25.90		89.00		4.60	3.00	1.60	66.00	25.20
	Máx				80.00		232.00		16.80	8.40	4.30	242.00	70.00
	Mín				18.00		22.00		5.60	2.00	0.60	100.00	16.00
	CV				49.00		79.00		40.00	75.00	78.00	45.00	76.00

Q = caudal = 518.4 m³/d

CO₂ = carga orgánica superficial (g/m²d)

CH = carga hidráulica (m³/m² d)

σ_{n-1} = desviación estándar

TR = tiempo de retención (d)

CV = coeficiente de variación (%)

X = valor promedio

T = muestra total

S = muestra soluble

Máx = valor máximo

Mín = valor mínimo

Para comparar las muestras provenientes de cada laguna se utilizó el coeficiente de variación relativa de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera etapa de estudio se llevó a cabo entre los meses de octubre y diciembre de 1998. Los resultados promedio obtenidos para los distintos parámetros analizados se señalan en la tabla 1. Las aguas de alimentación corresponden a las aguas residuales generadas en los estanques de cultivo de la trucha y las provenientes de la planta de procesamiento de la trucha, las cuales son sometidas a un tratamiento primario de filtración antes de entrar al sistema combinado de lagunas. Las características de esta agua se asemejan a un residual doméstico bruto, lo que posibilita su tratamiento a través de este sistema (Metcalf y Eddy, 1996).

Al analizar las remociones logradas en el sistema completo, teniendo en cuenta la laguna de esta-

bilización y la laguna con jacinto, se aprecia (tabla 1) que las eficiencias obtenidas son 39% para la DBO, 25% para la DQO, 27% para el PT, 8% para el NTK y 29% para el N-NH₃, no observándose eficiencias en la remoción en los SST. Hay que señalar que los valores de eficiencia obtenidos para la DQO, el PT y el NTK considerando el sistema completo son menores a los obtenidos en la laguna con jacinto, lo cual se debe a que las concentraciones afluentes a la laguna con jacinto presentaron concentraciones mayores que el agua residual que alimenta el sistema. Lo anterior puede deberse al crecimiento de algas en la zona superficial de las lagunas, a la flotación de lodos y al lavado de los microorganismos por los bajos tiempos de retención. Por otro lado, si se comparan los valores de carga orgánica superficial (CO_s) y carga hidráulica (CH) aplicados a la laguna con jacinto, con los valores reportados por Metcalf y Eddy (1996) para sistemas aerobios no aireados que utilicen plantas de jacinto, se comprueba que son 36 y 67 veces superiores al valor máximo

reportado. En el caso del tiempo de retención (TR) los valores son 33 veces menores, lo que no permite el desarrollo adecuado de los microorganismos responsables del proceso depurador en ambas lagunas.

Los resultados obtenidos durante esta etapa demostraron la necesidad de realizar reformas a dicha planta de tal manera que permitan un funcionamiento más eficiente. Se propuso realizar una evacuación de lodos en ambas lagunas y el análisis de los flujos de agua provenientes de los estanques de cultivo y del procesamiento de la trucha, ya que los reales no coincidían con los flujos de diseño.

Realizadas las actividades propuestas, se inició la segunda etapa entre los meses de febrero y mayo de 1999. Los resultados promedio obtenidos para los diferentes parámetros se señalan en la tabla 2.

Tabla 2. Características de las aguas residuales afluentes y efluentes al sistema combinado laguna de estabilización-laguna con jacinto de agua. Segunda etapa (febrero a mayo de 1999)

	TR	CO _s	CH	DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		NTK (mg/l)	N-NH ₃ (mg/l)	PT (mg/l)	ST (mg/l)	SST (mg/l)
				T	S	T	S	T	T	T	T	
Alimentación	X			57.60		113.00		6.04	4.37	1.93	166.80	25.20
	σ_{n-1}			34.20		43.27		2.05	2.63	1.14	48.20	10.75
	Máx			109.00		185.00		9.60	9.00	3.10	208.00	35.00
	Mín			26.00		78.00		4.40	2.80	0.16	88.00	10.00
	CV			59.00		38.00		34.00	60.00	59.00	29.00	43.00
Laguna de estabilización	X	0.90	72.60	1.26	51.80		97.00	8.36	3.69	1.33	141.60	16.50
	σ_{n-1}				27.80		29.74	6.01	2.27	0.69	39.98	4.15
	Máx				94.00		143.00	24.10	7.60	1.93	196.00	21.00
	Mín				25.00		76.00	2.20	2.10	0.23	86.00	12.00
	CV				54.00		31.00	72.00	62.00	52.00	28.00	25.00
Laguna con jacinto	X	0.90	65.30	1.26	21.60		44.60	6.49	2.00	0.99	135.60	21.40
	σ_{n-1}				9.34		28.07	5.44	0.36	0.58	32.78	10.89
	Máx				30.00		80.00	16.20	2.40	1.80	170.00	33.00
	Mín				11.00		16.00	3.50	1.52	0.16	86.00	6.00
	CV				43.00		63.00	84.00	18.00	58.00	24.00	51.00

Q = caudal = 172.8 m³/d

CO_s = carga orgánica superficial (g/m²d)

CH = carga hidráulica (m³/m²d)

σ_{n-1} = desviación estándar

TR = tiempo de retención (d)

CV = Coeficiente de variación (%)

X = valor promedio

T = muestra total

S = muestra soluble

Máx = valor máximo

Mín = valor mínimo

Es de anotar que en este periodo la precipitación fue de 1.371 mm, lo cual contribuyó a la dilución de las aguas residuales depuradas en este sistema. Sin embargo, la precipitación de origen pluvial registrada durante esta etapa no se tuvo en cuenta para el cálculo del caudal de entrada al sistema de lagunas favoreciendo posiblemente las bajas concentraciones en los efluentes de ambas lagunas. La remoción total ocurrida en el sistema combinado presentó los siguientes valores: 63% para la DBO, 61% para la DQO, 49% para el PT, 54% para el N-NH₃ y 15% para los SST. En el caso del NTK no se observó remoción ya que su concentración efluente fue superior a la concentración afluente a pesar de que sí fue notoria la remoción en la laguna con jacinto de agua. En el caso de la laguna con jacinto la CO₅ aplicada fue ocho veces superior a la reportada (Metcalf y Eddy, 1996), la CH fue veintidós veces superior y los TR once veces menores a los reportados para este sistema.

Los resultados obtenidos durante esta etapa indicaron la necesidad de realizar una limpieza al filtro de arena de flujo descendente cuyas aguas efluentes son las que alimentan al sistema combinado de lagunas; además se propuso la instalación de una tubería central en la cabeza de la laguna con tres codos paralelos que permitieran una entrada más uniforme de las aguas de alimentación.

Luego de la limpieza realizada al filtro y la instalación de la tubería en la cabeza de la primera laguna, se dio inicio a la *tercera etapa*, la cual se realizó entre los meses de junio y julio de 1999. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 3.

Las eficiencias logradas considerando el sistema completo fueron las siguientes: 78% en DBO, 80% en DQO, 64% en NTK, 75% en N-NH₃, 27% para PT y 40% para los SST. Las altas eficiencias se deben a que los TR se incrementaron entre 23 y 7.7 veces a los reportados en la primera y segun-

Tabla 3. Características de las aguas residuales afluentes y efluentes al sistema combinado laguna de estabilización-laguna con jacinto de agua. Tercera etapa (A) (junio a julio de 1999)

		TR	CO ₅	CH	DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		NTK (mg/l)	N-NH ₃ (mg/l)	PT (mg/l)	ST (mg/l)	SST (mg/l)
					T	S	T	S					
Alimentación	X				456.00		760.00		44.50	36.20	5.10	617.00	67.00
	σ_{n-1}				115.00		121.00		16.00	13.50	1.70	32.00	31.20
	Máx				579.00		870.00		43.40	55.00	6.20	654.00	103.00
	Mín				350.00		630.00		29.00	26.40	3.20	594.00	47.00
	CV				25.00		16.00		36.00	37.00	33.00	5.00	46.00
Laguna de estabilización	X	7.00	71.90	0.15	204.00		287.00		12.78	10.69	5.28	259.00	48.00
	σ_{n-1}				37.60		104.90		8.39	9.82	1.94	86.20	5.13
	Máx				243.00		370.00		22.40	22.00	6.60	342.00	54.00
	Mín				168.00		169.00		6.94	4.18	3.05	170.00	44.00
	CV				18.00		37.00		65.00	91.00	36.00	33.00	10.00
Laguna con jacinto	X	7.00	33.26	0.15	100.00		152.60		15.80	9.10	3.70	220.00	40.00
	σ_{n-1}				4.00		17.60		6.58	5.80	1.25	60.60	15.00
	Máx				104.00		169.00		21.10	15.00	4.70	256.00	49.00
	Mín				96.00		134.00		8.50	3.30	2.30	150.00	23.00
	CV				4.00		11.00		42.00	64.00	34.00	28.00	37.00

Q = caudal = 21.6 m³/d

CO₅ = carga orgánica superficial (g/m² d)

CH = carga hidráulica (m³/m² d)

σ_{n-1} = desviación estándar

TR = tiempo de retención (d)

CV = coeficiente de variación (%)

X = valor promedio

T = muestra total

S = muestra soluble

Máx = valor máximo

Mín = valor mínimo

da etapas, respectivamente. El incremento en el TR hace que los microorganismos responsables del proceso depurador se desarrollen más adecuadamente en las raíces de las plantas de jacinto. La CO_2 aplicada a la laguna con jacinto fue 3.7 veces superior a la reportada en la literatura y la CH fue 2.6 superior que la reportada para este sistema.

Los resultados obtenidos en estos dos meses demostraron que los cambios realizados en la industria eran necesarios para que el sistema de tratamiento trabajara más eficientemente. Por último, se consideró conveniente realizar la siembra de plantas de jacinto en el área final de la laguna con jacinto, ya que aproximadamente el 20% de esta laguna funcionaba sin plantas, lo que podría influir en la calidad del efluente del sistema combinado debido al crecimiento de algas en esta área.

En octubre de 1999 se realizó un último muestreo cuyos resultados se presentan en la tabla 4. La CO_2 y la CH, así como el TRH, fueron semejantes a los obtenidos durante la tercera etapa. La laguna con jacinto presentó remociones del 62% en DBO, 55% en DQO, 47% en SST, 23% en PT, 25% en NTK y 22% en N-NH_3 . Estos valores demuestran que las eficiencias logradas son superiores cuando la laguna se encontraba totalmente cubierta con plantas, siendo significativa la remoción en los SST, lo que demuestra que el crecimiento de las plantas impide el crecimiento de las algas.

Si se toma en cuenta el sistema completo en el que se incluye el canal conductor del efluente final al río Barbo, que está cubierto con piedras, se

puede observar que las eficiencias totales obtenidas son del 89% en DBO, 88% en DQO, 75% en SST, 40% en PT, 77% en NTK y 88% en N-NH_3 . La figura 1 muestra las concentraciones promedio de cada parámetro, tanto para el afluente como el efluente al sistema total de tratamiento.

CONCLUSIONES

- Las características de las aguas residuales que alimentan el sistema de tratamiento combinado de lagunas se pueden enmarcar dentro de un residual doméstico bruto fluctuando sus concentraciones entre las clasificadas como débiles a fuertes en dependencia del agua afluente. Esta caracterización determinó la factibilidad del tratamiento.
- Debido a la sensibilidad del jacinto de agua a las temperaturas frías, la temperatura media ambiente de 16 °C y del agua de las lagunas de 14 °C no tuvo efectos negativos en el sistema de tratamiento.
- Un sistema integrado de laguna de estabilización y laguna con jacinto, es un sistema que contribuye al tratamiento de las aguas residuales piscícolas y a la producción de biomasa.
- Los valores presentados en la tabla cuatro para el caso de la laguna con jacinto, demuestran que las eficiencias en las remociones logradas son superiores cuando la laguna se encontraba totalmente cubierta con plantas, siendo significativa la remoción en los SST, lo que demuestra que la presencia de las plantas impide el crecimiento de las algas y genera un efluente más claro.

Tabla 4. Características de las aguas residuales afluentes y efluentes al sistema combinado laguna de estabilización-laguna con jacinto de agua. Tercera etapa (B) (octubre de 1999)

Descripción	Parámetros (mg/l)						
	DQO	DBO	SST	PT	NTK	N-NH_3	pH
Alimentación	692.0	416.0	45.0	6.0	37.0	31.0	6.5
Laguna	290.0	216.0	36.0	5.7	24.0	11.0	6.6
Laguna con jacinto	129.0	82.0	19.0	4.4	18.0	8.6	6.7
Canal final	86.0	44.0	11.0	3.6	8.4	3.8	6.8

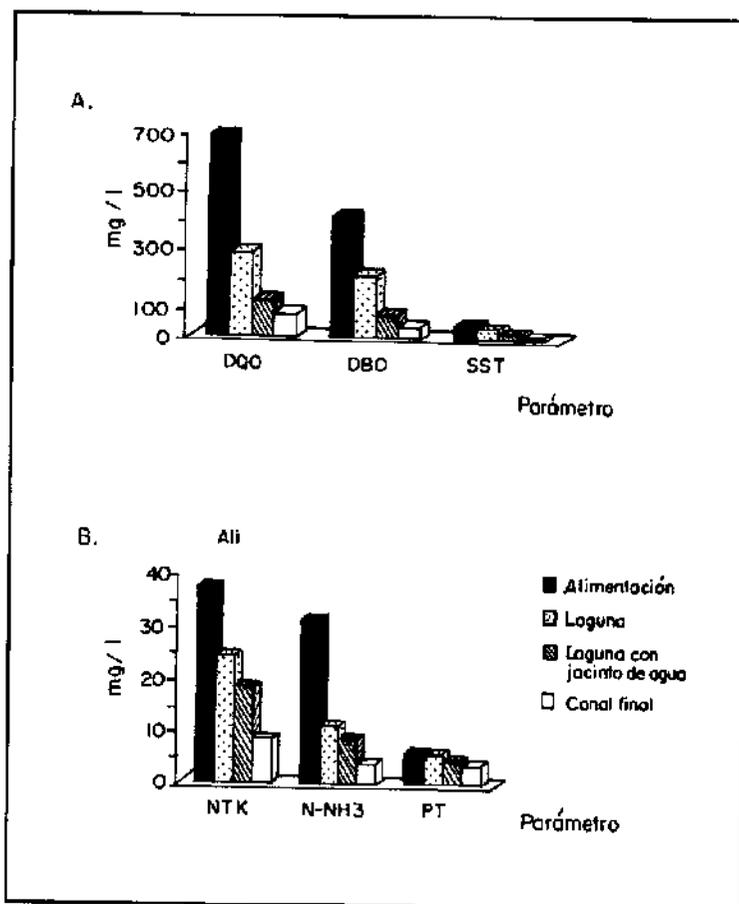


Figura 1. Concentraciones DBO, DQO, SST, NTK, N-NH₃ y PT. Tercera etapa (B)

• A pesar de la alta carga orgánica afluente de 71.9 g/m²d, muy superior a la reportada en la literatura, los datos de los trece meses de estudio indicaron que el sistema combinado remueve en su última etapa 80% en la DBO, 81% en la DQO y 57% como SST, para un tiempo de retención de catorce días.

• El canal conductor del efluente final al río Barbo se comporta como un filtro biológico de flujo horizontal, en el cual se desarrolla una biomasa adherida a las piedras, que es la responsable de mejorar la depuración de este efluente.

• Con base en este estudio, la Corporación Autónoma Regional del Risaralda (CARDER) validó este sistema de tratamiento como una tecnología alternativa, de bajo costo y fácil mantenimiento,

debido a que produce efluentes con características comparables a los sistemas de tratamiento convencional.

AGRADECIMIENTOS

A los directivos de la Universidad Tecnológica de Pereira por el apoyo y tiempo concedido; a los funcionarios de la procesadora Pez fresco por su amable disposición y colaboración; a la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) por su apoyo económico y técnico; a la doctora Celia Rodríguez del Instituto Superior Politécnico Jaime A. Echevarría (La Habana, Cuba) por su colaboración y guía durante el desarrollo del proyecto; y al personal del laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias Ambientales, de la Universidad Tecnológica de Pereira.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WPCF.** 1995. Standard methods for the examination of water and waste water 19th edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- De Casabianca, M.A.L.** 1995. *Eichhornia crassipes* production on petroliferous wastewaters: Effects of salinity. *Bioresource Technol* 54:39-43.
- Mcalf, Eddy.** 1996. *Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.* 3ª ed., McGraw-Hill Inc, New York.
- Polprasert C, Wiley J and Sons.** 1996. *Organic waste recycling.* Chichester, UK.
- Reed SC, Middlebrooks EJ and Crites RW.** 1985. Aquatic treatment systems. *En: Natural systems for waste management and treatment.* McGraw-Hill, New York.
- Rodríguez Pérez de Agreda C.** 1997. Uso de las plantas acuáticas en la depuración de las aguas residuales domésticas. Tesis doctoral en Ciencias Técnicas, Facultad Ingeniería Civil, ISPJAE, La Habana, Cuba.
- Sherwood C, Reed SC, Middlebrooks EJ, Crites RW.** 1995. *Natural system for waste management and treatment.* McGraw-Hill, New York.
- Stowell R, Ludwig R, Colt J, Tchobanoglous G.** 1980. Towards the rational design of aquatic treatment systems. *En: American Society of Civil Engineers.* Portland, Oregon.
- Tchobanoglous G.** 1987. Aquatic plant systems for water treatment. *En: BOD removal in floating aquatic macrophyte based wastewater treatment systems. Wat Sci Tech* 19:273-279.
- Wolverton BC, McDonald RC.** 1982. The role of vascular aquatic plants. *En: Wastewater treatment. Econ Bot:* 24-29.