

EVALUACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA

Alma Deloya Martínez*

En el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), sede Cartago, el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) ha sido empleado en el tratamiento de sus aguas residuales. Dado que el sistema no había sido evaluado, se presentan y analizan los resultados obtenidos durante setiembre de 1988 a mayo de 1989. El influente y el efluente del sistema fueron muestreados y analizados dos veces por semana, determinándose los parámetros siguientes: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), temperatura (T), pH, alcalinidad, turbiedad, conductividad, sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos totales fijos (STF), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF) y sólidos sedimentables; los coliformes totales y fecales se determinaron cada cinco semanas. Las eficiencias de remoción promedio durante el estudio fueron 81% para la DQO y 85% para la DBO, obteniéndose mejores resultados durante la época seca (87% y 88% respectivamente). Los análisis se realizaron según los métodos estandarizados para aguas residuales y los datos se analizaron por el método de Gumbel. En conclusión, puede decirse que el lirio acuático es capaz de bajar los contaminantes hasta niveles que cumplen con los límites establecidos en países como Estados Unidos, México y Canadá.

INTRODUCCION

De acuerdo con Gloyne⁶, las lagunas de estabilización son el 50% más baratas

que otros sistemas (cuando se dispone de terreno a bajo precio) y además requieren operación y mantenimiento mínimo para su buen funcionamiento. Por otro lado, numerosos estudios realizados^{7 a 14} han demostrado que al sembrar lirio acuático en estos sistemas de tratamiento, se obtienen efluentes de alta calidad que cumplen con los niveles establecidos en Estados Unidos por la Environmental Protection Agency (EPA), para aguas tratadas.

Dado que el sistema de tratamiento del Instituto Tecnológico de Costa Rica no había sido evaluado, se presentan y analizan los datos obtenidos sistemáticamente durante la época lluviosa (setiembre a diciembre de 1988) y la época seca (enero a mayo de 1989), para el sistema con lirios y sin ellos.

Con los datos se obtiene la eficiencia de remoción del sistema en términos de los principales parámetros (DBO, DQO, ST, STV, pH, coliformes fecales y totales, temperatura) que indican el funcionamiento de una planta de tratamiento. Se establecen también los parámetros, operaciones (como caudal influente y efluente), carga orgánica superficial y tiempo de retención.

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El sistema de tratamiento de las aguas residuales del Instituto Tecnológico de Costa Rica está ubicado a 1 km de las instalaciones de la sede de Cartago y consiste en dos lagunas de 75 m de largo, 10 m de ancho y 1 m de profundidad, cada una. Las aguas procedentes de los laboratorios (de Física, Química, Biología, Metalurgia, etc.), de la soda y de los servicios sanitarios, (toda el agua utilizada en la institución excepto el agua pluvial), llegan al sistema de tratamiento, sin pasar por rejillas y entran a la primera laguna anaeróbica, sembrada en su totalidad con lirio acuático. El efluente de esta primera laguna pasa a la segunda laguna aeróbica sembrada con peces (tilapia, olomina y guapote). En la primera laguna, la depuración del agua residual se lleva a cabo por el lirio acuático y por bacterias heterótrofas; en la segunda laguna, por algas y bacterias aeróbicas. Finalmente, el agua tratada (efluente del sistema) es descargada por un canal abierto al río Toyogres.

Las características operacionales durante la evaluación del sistema se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Características operacionales durante el período de evaluación del sistema de tratamiento

Area de tratamiento (las dos lagunas)	0,15 ha (1500 m ²)
Tiempo de retención	6,6 días
Caudal promedio influente (verano)	190 m ³ /día
Caudal promedio influente (invierno)	253 m ³ /día
Carga orgánica superficial promedio	144 kg DBO/ha/día
Profundidad de operación (verano)	0,84 m
Profundidad de operación (invierno)	0,90 m
Evapotranspiración	25%

MATERIAL Y METODOS

Los parámetros que se eligieron para evaluar el sistema de tratamiento son los recomendados por la literatura para la evaluación de lagunas de estabilización^{15, 16}.

Muestras del influente y efluente de sistema de tratamiento fueron tomadas dos veces por semana, durante el periodo comprendido de setiembre de 1988 a mayo de 1989. La DBO, DQO, OD, pH, alcalinidad y turbiedad, se determinaron dos veces por semana. El caudal influente y efluente, temperatura y la profundidad de operación se midieron diariamente; la profundidad de los lodos una vez por mes y los coliformes fecales y totales cada cinco semanas.

Los parámetros meteorológicos (velocidad del viento, luz solar y precipitación pluvial (lluvia)) fueron tomados de la estación meteorológica de ITCR.

La fuente receptora (río Toyogres) se muestreó dos veces al mes, antes y después de la descarga, determinándose los mismos parámetros físico-químicos que para el sistema en evaluación.

Todos los análisis se realizaron de acuerdo con los métodos estandarizados para aguas residuales¹:

- La DBO se determinó por el método de dilución
- El oxígeno disuelto por dos métodos el volumétrico de Winkler y usando un medidor de oxígeno YSI, modelo 54 ARC
- La DQO por el método del dicromato
- Los sólidos suspendidos por el método modificado de Norouzián¹⁷ utilizando papel de fibra de vidrio
- Los sólidos totales por el método de residuo a 103°C
- La conductividad se determinó usando un conductímetro marca Mote Chemical

- La turbiedad con un turbidímetro Hf Scientific, Inc., Modelo DRT-15 B
- El pH y la alcalinidad por un medidor de pH Beckman, Modelo 5310-01.

El cambio de los lirios se realizó cada 4 ó 5 semanas, removiéndose aproximadamente de 80 a 100 m², para esa operación se usaron rastrillos largos. Se procedió a sembrar con lirios nuevos el área removida, con el fin de que prevalecieran las condiciones anaeróbicas. Los lirios se dispusieron, diseminándolos sobre la tierra, a cielo abierto y se observó que, al cabo de 3 ó 4 semanas se degradaban rápidamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los Cuadros 2 y 3 resumen los resultados del estudio, cuando la primera laguna funcionó totalmente cubierta con lirio acuático. El período comprendido de setiembre a diciembre de 1988 se consideró dentro de la época lluviosa y el comprendido de enero a mayo de 1989 dentro de la época seca.

En los Cuadros 2 y 3 puede observarse que las concentraciones de DQO y DBO₅ del influente (I), son muy variables. La DQO total varía desde un valor máximo de 924 mg/L hasta un

CUADRO 2. DBO₅, DQO y de eficiencia con la primera laguna en una sola hoja cubierta con lirios (época lluviosa, oct.-dic. 1988).

Fecha	DQO Total (mg/l)		DQO soluble ⁺ (mg/l)		DBO ₅ total (mg/l)		DBO ₅ soluble ⁺ (mg/l)		% Eficiencia			
	I*	E**	I	E	I	E	I	E	T	S	T	S
25-10	42	7	32	7	69	34	46	22	83	78	51	52
27-10	238	17	258	14	142	23	74	17	93	95	83	77
30-11	-	-	104	40	134	37	56	21	-	62	72	62
04-11	117	23	133	16	60	25	57	2	80	88	58	96
09-11	168	56	120	40	71	3	45	3	72	67	96	93
15-11++	110	79	110	79	61	31	40	37	28	28	49	-
17-11	190	48	63	16	102	9	51	7	75	74	91	86
24-11	256	39	201	47	175	16	61	4	85	77	97	93
28-11++	94	56	65	32	36	11	38	8	40	51	69	78
01-12++	71	55	41	16	54	18	42	18	23	61	67	57
08-12	198	26	94	26	32	4	16	2	87	72	88	88
09-12	382	70	203	78	129	3	105	12	82	62	98	89
15-12	117	39	78	16	-	-	50	11	67	79	-	78
20-12++	104	40	79	24	-	-	-	-	37	69	-	-
	160	46	113	33	89	18	52	13	80	75	74	81

I* = Influyente E* = Efluente + soluble = filtrada ++ = datos eliminados para \bar{x} de % de eficiencia por estar inestable el sistema.

CUADRO 3. DBO₅, DQO y de eficiencia con la primera laguna cubierta totalmente con lirios (época seca, enero–mayo 1989).

Fecha	DQO Total (mg/l)		DQO soluble ⁺ (mg/l)		DBO ₅ total (mg/l)		DBO ₅ soluble ⁺ (mg/l)		% Eficiencia			
	I*	E**	I	E	I	E	I	E	T	S	T	S
19-01 ⁺⁺	82	8	52	0	39	—	—	24	90	100	—	—
24-01 ⁺⁺	96	104	52	26	44	38	44	33	—	50	16	25
26-01	449	50	195	34	210	27	87	18	89	83	99	75
31-01	152	25	144	27	38	16	27	0	84	81	58	100
02-02 ⁺⁺	85	51	51	17	—	—	—	6	40	67	—	—
09-02 ⁺	110	45	51	27	—	—	—	—	59	47	—	—
14-02	153	40	129	48	69	3	24	15	74	63	96	37
16-02	250	36	125	27	159	11	57	9	86	70	93	84
23-02	339	119	266	18	153	30	120	9	65	93	80	90
27-02	—	—	230	10	160	7	—	—	—	96	96	—
04-03	924	67	672	50	—	—	—	—	93	93	—	—
04-04 ⁺⁺	145	—	128	—	40	37	21	—	—	—	—	—
13-04	250	47	217	44	122	17	54	6	81	80	86	66
18-04 ⁺⁺	200	55	150	45	111	27	62	8	72	70	76	87
20-04	162	45	88	12	78	3	42	2	72	86	96	95
27-04	231	37	134	2	150	27	144	21	84	99	82	85
02-05	298	73	49	3	157	18	32	5	63	94	87	86
04-05	451	85	256	37	180	11	170	8	81	86	94	95
08-05	219	65	170	24	114	36	96	15	70	86	68	84
10-05 ⁺⁺	—	—	—	—	51	24	30	18	—	—	53	41
12-05 ⁺⁺	169	88	157	36	122	30	92	23	49	77	75	75
16-05 ⁺⁺	198	99	66	12	134	37	56	21	50	82	72	67
18-05	457	69	276	51	188	23	162	20	85	82	88	86
\bar{x}	258	60	166	28	116	22	73	15	82	87	86	83

I* = Influyente

E* = Efluente

+ soluble = filtrada

++ = datos eliminados para \bar{x} de % de eficiencia por estar inestable el sistema

mínimo de 25 mg/L, con un valor promedio de 160 mg/L, para la época lluviosa y 258 mg/L, para la época seca. De igual manera la DBO₅ total varía desde un valor de 210 mg/L, hasta un mínimo de 32 mg/L, con un valor promedio de 89 mg/L, para la época lluviosa y 116 mg/L para la época seca.

Esta variabilidad de la concentración influente (I) del sistema es de esperarse porque las características del desecho por tratar varían con las actividades en el Instituto, principalmente con las actividades en los Laboratorios de Química, que son los principales

generadores de DQO. Sin embargo, las características del influente concuerdan con las obtenidas por Norouzian¹⁸ y Deloya¹⁹, para aguas residuales de instituciones universitarias.

Para el fin de semana, las concentraciones promedio del influente para estos parámetros fueron: 40 y 37 mg/L para la DQO total y soluble respectivamente, y los valores para la DBO₅ total y soluble de 23 y 20 mg/L, respectivamente. Puede decirse que para fines prácticos no hay diferencia entre las concentraciones total y soluble de ambos parámetros. Estas bajas concentraciones de DBO₅ y DQO del influente dieron como consecuencia que los valores de DQO y DBO₅ fueran mayores en el efluente que en el influente, durante los fines de semana, cumpliéndose siempre los límites de calidad en el efluente. Esto es de esperarse considerando el tiempo de retención (6,6 días) del agua residual en el sistema. Por esta razón, los datos de fin de semana se descartaron para calcular las eficiencias de remoción promedio del sistema.

Las concentraciones de DBO₅ soluble en el efluente (E) no sobrepasan los límites mensual y semanal promedio de 30 mg/L y 45 mg/L respectivamente, (ver Figuras 1 y 2) establecidos en E.U.A. por la EPA^{3,20}. La DQO soluble mensual del efluente nunca sobrepasó los 50 mg/L valor que puede considerarse como excelente, tomando en cuenta que la DQO influente durante el estudio presentó grandes variaciones, actuando como tóxico en el sistema, porque los procesos biológicos de tratamiento son afectados por la presencia de sustancias químicas que matan a los microorganismos y algas, principalmente depuradores del agua residual.

En los Cuadros 2 y 3 también puede observarse que las eficiencias de remoción promedio de DBO soluble para las épocas lluviosa y seca fueron 81% y 88%

respectivamente. Para la DQO soluble las remociones fueron de 75% y 87%, para las épocas lluviosa y seca, respectivamente.

Las eficiencias obtenidas y la tasa de remoción de sustrato de 141 kg de DBO/10 000 m²/día pueden tomarse como excelentes, considerando las variaciones de flujo y carga orgánica que recibe el sistema. Estas variaciones desestabilizan el sistema, afectando las eficiencias de remoción. Sin embargo, no afectan la calidad del efluente, en el que se obtienen valores bajos de DBO, DQO y SST. Estos valores demuestran que el sistema es capaz de amortiguar las variaciones de flujo y carga influente.

Los resultados promedio de otros parámetros determinados durante el estudio, se resumen en el Cuadro 4. Los valores de pH en el efluente mostraron una fluctuación de 6,7 a 8,1, con un valor promedio de 7,0 para la época lluviosa. Las fluctuaciones de este parámetro durante la época seca fueron de 7 a 8,4 con un valor promedio de 7,8. Estas variaciones se encuentran dentro de los límites permitidos por la EPA para efluentes (6 a 9 unidades de pH)^{4,5}. Las lagunas con lirio acuático permiten mantener este parámetro dentro de este límite, debido al efecto *buffer* que según Wolverton y Mc Donald^{10,11} tiene esta planta. Además, el agua residual influente tiene suficiente alcalinidad, (182 mg/L en promedio) para amortiguar las variaciones de pH, conservándose este parámetro dentro de los límites para el desarrollo normal del lirio²¹.

El oxígeno disuelto (OD) en el efluente se mantuvo por encima de los 5 mg/L, límite mínimo establecido para este parámetro³. Las concentraciones de OD son afectadas, principalmente, por el área cubierta con lirios, las horas luz y velocidad del viento¹⁵.

FIGURA 1.
Variación de la DQO soluble para el afluente (de octubre de 1988 a mayo de 1989).

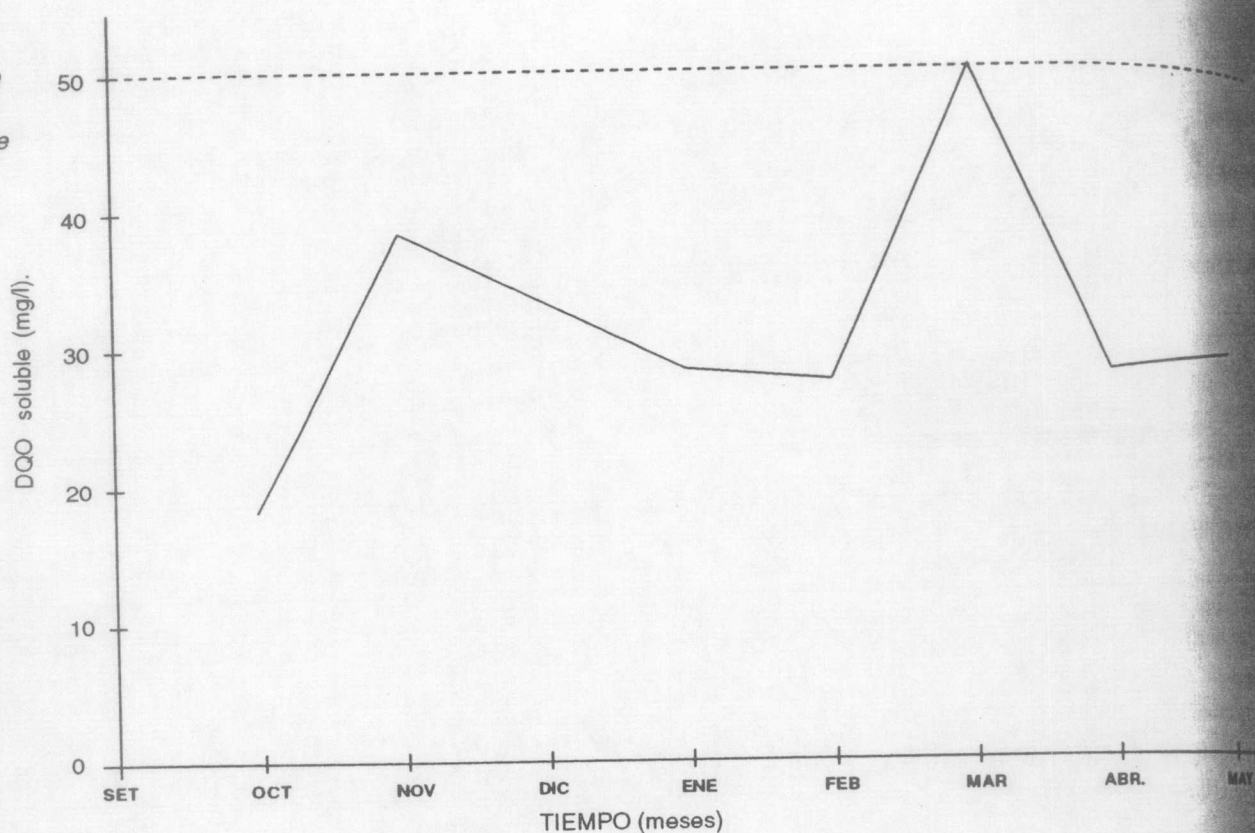
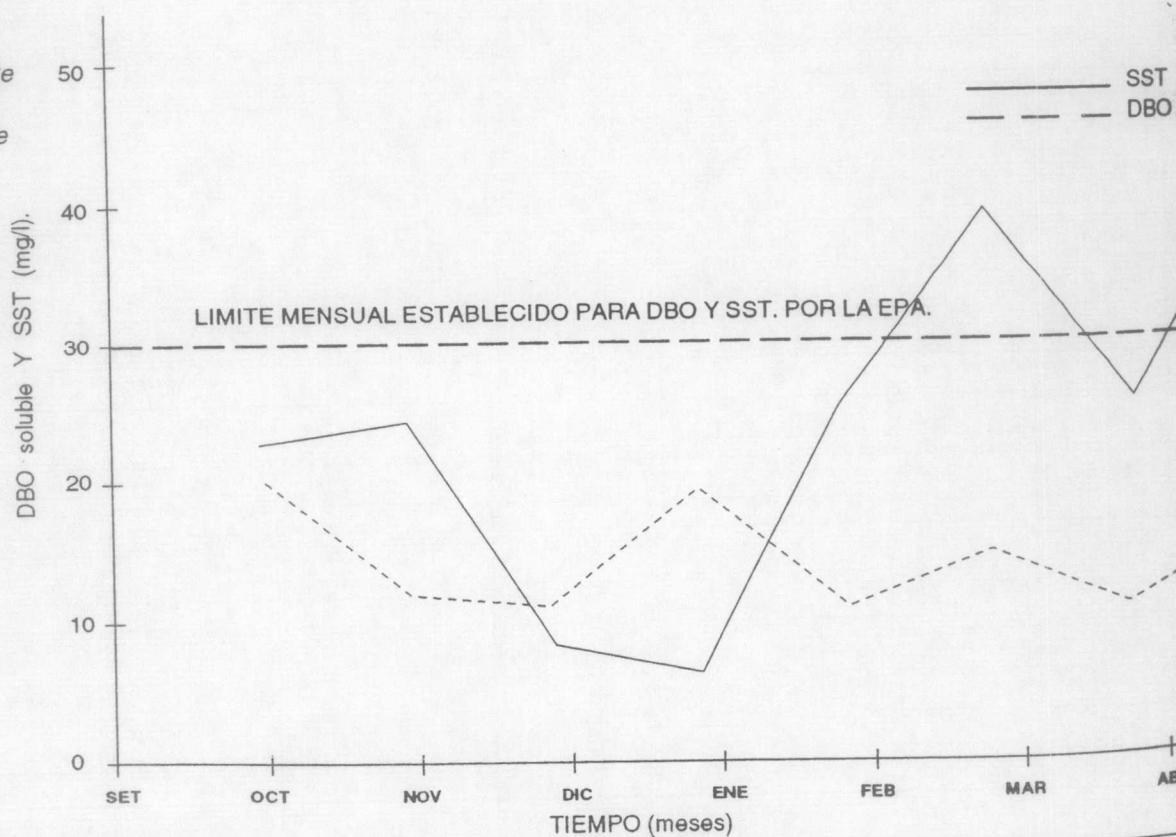
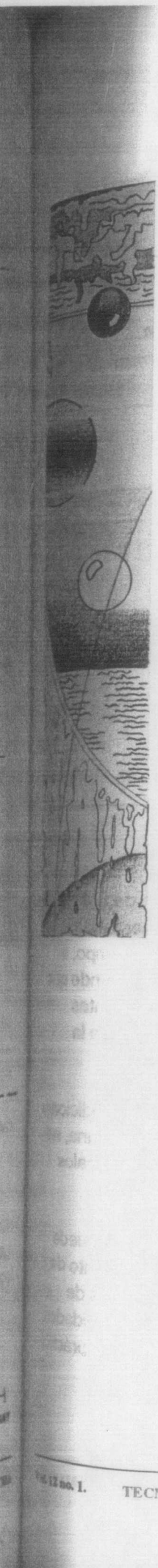


FIGURA 2.
Variación de la DBO soluble y SST del afluente (de octubre de 1988 a mayo de 1989).





La relación promedio de SV/ST, en el influente fue de 57%, lo cual significa que el 57% de los sólidos es de naturaleza orgánica y el 43% de naturaleza inorgánica.

La variación mensual promedio de los sólidos suspendidos totales se muestra en la Figura 2. Solamente durante los meses de marzo y mayo, se sobrepasó el límite mensual promedio de 30 mg/L, establecido para este parámetro por la EPA pero nunca sobrepasó los 80 mg/L, límite establecido en México, para conservar la vida acuática⁵. Este límite no se cumplió durante el mes de marzo posiblemente debido a actividades extraordinarias en la institución, como la realización de EXPOTECNIA 89, y durante el mes de mayo por el inicio de la época lluviosa, lapso durante el cual el sistema sufre el período de mayor inestabilidad (3 a 4 semanas). Sin embargo, los valores promedio durante estos meses (marzo y mayo) no sobrepasan los 45 mg/L, criterio establecido en otros países⁵.

En cuanto a la eficiencia de remoción de coliformes fecales y totales, se obtuvieron diferencias significativas entre la época seca (92% y 93% respectivamente) y la lluviosa (79% y 88% respectivamente). La remoción de coliformes, durante la época lluviosa concuerda con los parámetros reportados por Dinges⁹ a ²⁰ para lagunas sembradas con lirio acuático, y se cumple el criterio de calidad del efluente que fija un límite máximo de 2 000 coliformes fecales/100 mL, para poder ser descargado a la fuente receptora⁴.

La presencia del lirio acuático en el sistema aumenta significativamente la calidad del efluente. Así, cuando la primera laguna funciona totalmente cubierta con lirios prevalecen las condiciones anaerobias y no se presentan problemas de malos olores ni de natas en la superficie. En cambio, cuando la primera laguna funciona prácticamente sin lirios, gran cantidad de natas y lodos emergen a la superficie. Vale

la pena agregar que este es el problema principal en la operación de lagunas de oxidación, durante los meses más calientes del año, de acuerdo con estudios de Mc Donald y Wolverton^{13,14}.

La evapotranspiración calculada al medir el flujo influente y efluente de las dos lagunas fue de 25%.

Finalmente se ensayaron varias formas de cosechar los lirios, obteniéndose las mejores eficiencias al sacar secciones de 80 a 100 m², cada 4 ó 5 semanas; comenzando por el área donde entra el influente, rotándose el cambio hasta terminar en la sección donde sale el efluente de esta primera laguna. El tiempo máximo para cambiar los lirios no debe pasar de las 10 ó 12 semanas, porque después de este período las eficiencias bajan en tal forma, que la calidad del efluente no cumple con los criterios para lanzamiento de aguas tratadas²².

Los resultados obtenidos de la fuente receptora se muestran en el Cuadro 5. Obsérvese que se presenta un ligero efecto de dilución en el cauce receptor después de la descarga. En el Cuadro 1 se aprecia que la DQO y la DBO disminuyen después de la descarga (del efluente de la planta de tratamiento del Instituto Tecnológico), principalmente en el verano, época crítica para el cauce receptor, por la disminución del caudal de agua durante esta época del año.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las remociones promedio de DBO y DQO (85% y 81%, respectivamente) y la tasa máxima de remoción de sustrato (140 kg DBO/ha/día) pueden considerarse como excelentes, tomando en cuenta las variaciones de flujo y carga influente a que está expuesto el sistema.

CUADRO 4. Valores promedio de pH, temperatura, OD, alcalinidad, conductividad, turbiedad y sólidos con la primera laguna totalmente cubierta con lirio (setiembre 1988–mayo 1989).

	Valores promedio				% eficiencia	
	Epoca lluviosa		Epoca seca		Lluviosa	Seca
	I*	E**	I*	E**		
pH (Unidades de pH)	7,4	7,0	7,5	7,8	—	—
Temperatura (°C)	21,0	19,0	23,0	20,0	—	—
Oxígeno disuelto (mg/l)	1,8	9,4	2,5	11,0	—	—
Sólidos totales (mg/l)	361	229	495	327	47	34
Sólidos totales volátiles (mg/l)	213	115	304	200	46	26
Sólidos totales fijos (mg/l)	239	186	222	176	22	21
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	40	26	34	22	35	35
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	25	16	29	18	36	37
Sólidos suspendidos fijos (mg/l)	46	24	44	20	47	54
Sólidos sedimentables (ml/l)	4	0	4,5	0	100	100
(Conductividad (μ Mohs/cm)	680	400	716	334	47	53
Turbiedad (NTU)	32	16	76	7	50	78
Alcalinidad (mg/l)	175	133	198	153	24	22
Coliformes totales (NMP)	11900	2500	+11900	900	79	92
Coliformes fecales (NMP)	2900	350	+2900	210	88	93

I* = influente

E** = efluente

- El sistema con lirio acuático es capaz de disminuir la concentración de los principales contaminantes, indicadores de la calidad del agua tratada, hasta niveles que cumplen con límites tan exigentes como los establecidos por la EPA, en los E.U.A.
- La calidad del efluente depende principalmente del área cubierta con lirios y del período en que sean removidos.
Los resultados obtenidos de la fuente receptora, (río Toyogres) muestran un efecto de dilución en el cauce receptor después de la descarga del efluente de la planta del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Se requiere la remoción de una parte de los lirios cada 4 ó 5 semanas, porque después de este tiempo, su densidad llegar a ser tan grande que impide el crecimiento de plantas nuevas, con lo cual se reduce la eficiencia del sistema.
- Mientras prevalezcan las condiciones anaerobias en la primera laguna, no se presentan problemas de malos olores.
- El sistema con lirio acuático puede recomendarse en el tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeñas y medianas comunidades por ser eficiente, económico, práctico y de fácil operación.

CUADRO 5. Valores promedio de la fuente receptora (río Toyogres), durante las dos épocas del año

Parámetro	Unidades de pH	Alcalinidad (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	ST (mg/l)	STV (mg/l)	STF (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Conductividad (μ Mohs/cm)
Epoca lluviosa										
AD*	7,5	157	75	30	5,6	408	196	212	68	573
DD**	7,5	131	64	26	5,7	408	188	221	62	570
Epoca seca										
AD	8,2	123	73	79	5,0	298	121	177	79	450
DD	8,3	144	57	68	5,5	361	154	219	70	492

AD* = 100 m antes de la descarga del efluente.

DD** = 100 m después de la descarga del efluente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Public Health Association. **Standard Method for the examination of the water and wastewater**, 14th edition, Washington D.C.: American Public Health Association, 1975.
- Gumbel, E.J. *The return period of flood flows*. **Annals of Mathematical Statistics**. 1981, 12; 163.
- Metcalf and Eddy. **Wastewater Engineering. Treatment Disposal Reuse**. México, Mc Graw-Hill Book, 1979.
- Nemerow, N.L. **Liquid waste of industry, theories, practices and treatment**. New Jersey: Addison-Wesley, 1971.
- México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, (SEDUE), **Introducción al control de la contaminación del agua**, México: SEDUE, 1986.
- Gloyne, E.A. F. **Wasted Stabilization Ponds**. Geneva: World Health Organization, 1971.
- Mc Donald, R.C. y Wolverton, B.C. *Comparative study of waste lagoon with and without water hyacinth, *Eichhornia crassipes**. **Econ. Bot.** 1980, 34; 101-110.
- Dinges, R. *Aquatic vegetation and water pollution control public health implications*. **Am J. Public Health**, 1978, 68; 1202-1205.
- Dinges, R. *Upgrading stabilization pond effluent by water hyacinth culture*. **J. Water Pollut Control Fed.** 1978; 50; 833-845.
- Dinges, R. **Water Hyacinth Culture for Waste Water Treatment**, Health Department Report, Texas, 1976.
- Wolverton, B.C. *The water hyacinth. Mazingira*, 1979; 11 N 59-65.
- Wolverton, B.C. y Mc Donald, F.C. *Don't waste water weeds*. **New Sci.** 1976, 71; 318-321.
- Wolverton, B.C. y Mc Donald, F.C. *Upgrading Facultative waste water lagoons with vascular aquatic plants*. **J. Water Pollut Control Fed.**, 1978; 51; 59-65.
- Wolverton, B.C. y Mc Donald, F.C. *Upgrading Facultative waste water lagoons with vascular aquatic plants*. **J. Water Pollut Control Fed.**, 1978; 51; 305-313.
- México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), Secretaría de Ecología, **Operación y mantenimiento de instalaciones para el tratamiento de aguas residuales**. México: SEDUE, 1986.

16. Water Pollution Control Federation. **Operation of Waste Treatment Plants**. New York: Mc Graw-Hill Book, 1979.
17. Norouzian, M.J. **Evaluación del diseño y de la operación y capacitación del personal de la planta de tratamiento de aguas de desecho de C.U. UNAM**. México: Instituto de Ingeniería de la UNAM 1984. p. 29-30.
18. Norouzian, M.J. **A performance evaluation and kinetics. Determination of an RBC System Operating at the C.U. Waste Water Treatment Plant**. México: Instituto de Ingeniería, UNAM, 1983.
19. Deloya, M.A. **Estudio del comportamiento de una unidad de biodisco estructuralmente modificada**. México: Instituto de Ingeniería, UNAM, 1984, p. 57.
20. Arceivala, S.J. **Wastewater treatment and disposal**. New York: Marcel Dekker, 1981.
21. Haller, W. y Sutton, D.L. **Effect of pH and high phosphorus concentrations on growth of water hyacinth**. *Hyacinth Control J. II*; 1973. 59-61. II; 1973. 59-61.
22. Programa Nacional de Saneamiento Ambiente (Costa Rica). **Programa de control de la contaminación del agua**. San José: Ministerio de Salud, 1982.

D i s e ñ o I n d u s t r i a l

A r q u i t e c t u r a

MODULO

D i s e ñ o G r á f i c o y

D i s e ñ o I n t e r i o r

Revista semestral, Dpto. Diseño Industrial. Apdo 159-7050 Cartago. Costa Rica.