

# **Diseño, Construcción y Evaluación de un Sistema Integral en Serie de Tratamiento de Aguas Residuales para un Proyecto Ecoturístico Usando Fosas Sépticas y Humedales.**

Clave del Proyecto:19990505003

Director y Participantes del proyecto:

Dr. Hugo A. Guillén Trujillo<sup>1</sup>  
M.I. Favio Antonio Cancino Carballo  
Ing. Enoch Manuel Durante Vargas

## **INTRODUCCION.**

Las comunidades rurales, en su mayoría, en el estado de Chiapas actualmente afrontan graves problemas en el tratamiento de sus aguas residuales domiciliarias. Es aún más crítico cuando realizan proyectos ecoturísticos que carecen de algún tratamiento de las aguas residuales, y por consiguiente, provocan una contaminación del entorno ecológico, que es el atractivo turístico. En este proyecto se está evaluando una casa-albergue con más de 50 estudiantes indígenas para el tratamiento de sus aguas residuales usando un sistema integral de tratamiento que incluye fosa séptica-humedal-estanque de peces. Los usuarios plantearon su urgente necesidad de un sistema más eficiente para tratar sus aguas residuales ya que contaban inicialmente únicamente con una fosa séptica de aproximadamente 9,000 litros que ha rebasado su capacidad de tratamiento. Estas aguas residuales son descargadas a los cafetales. El tratamiento de la fosa séptica es insuficiente por sí sola para lograr los estándares requeridos por las normas ecológicas vigentes para descargas superficiales a sistemas de riego.

Por otra parte, pensar en un sistema de tratamiento convencional, llámense a estos los que usan fuentes no renovables, sería una alternativa muy costosa para las comunidades, y no podrían cubrirse los costos de instalación, operación y mantenimiento. Por ello se pensó en un sistema que remueva los contaminantes aprovechando procesos biológicos que tienen excelente eficiencia en las zonas tropicales y además aplicar principios de ingeniería ecológica.

## **OBJETIVOS.**

### **Generales.**

Se espera que al agregar al sistema de tratamiento de la comunidad, el humedal construido de flujo subsuperficial, se resuelva la problemática que tiene la comunidad en cuanto a aguas residuales se refiere, y satisfacer las normas de descarga (NOM-001-ECOL-1996). Por consecuencia, se espera que la eficiencia de tratamiento del sistema en serie de la fosa séptica y del humedal sea mayor que el que actualmente se tiene únicamente con la fosa séptica.

### **Particulares.**

- 1.- Caracterizar el agua residual de la comunidad y determinar los gastos para diseño del sistema de tratamiento.
- 2.- Rehabilitar una fosa séptica de 9,000 litros que funciona como tratamiento primario y secundario de las aguas residuales generadas en la casa albergue.
- 3.- Diseñar y construir un humedal de flujo subsuperficial que trabajará en serie con la fosa séptica para pulir la calidad de agua del efluente de la fosa séptica y servir como tratamiento secundario o terciario. Adicionalmente, incorporar al final del sistema un estanque de peces que funcione también como una laguna de maduración.
- 4.- Tomar muestras de los efluentes de las unidades de tratamiento para monitorear la calidad del agua y determinar la eficiencia del sistema.
- 5.- Determinar la factibilidad del uso en serie de fosas sépticas y humedales como un tratamiento alternativo de aguas residuales usando principios de ingeniería ecológica.
- 6.- Experimentar al final del sistema una unidad de tratamiento consistente en un estanque de peces para determinar la factibilidad de crecimiento de tilapias, siempre y cuando, se cumplan con las normas vigentes tanto de descargas como de salud pública.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas, tel/fax (961) 615 0527, hugoguillen@prodigy.net.mx

7.- Concientizar a los usuarios de la importancia de tener y operar adecuadamente un sistema de tratamiento de las aguas residuales y reciclaje de nutrientes en la comunidad.

## METODOLOGIA.

1.- Determinar el volumen y calidad del agua residual para esta localidad.

2.- Obtención de muestras del material que va a conformar la cama de material del humedal, para determinar su porosidad y conductividad hidráulica, datos que se necesitan para el dimensionamiento del mismo (EPA 1993).

3.- Realizar un estudio del estado de la fosa séptica, para así determinar como rehabilitarla o en todo caso se diseñará una nueva para el gasto de aguas residuales que se estime para la localidad.

4.- Diseñar un humedal de flujo subsuperficial adecuado para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del efluente de la fosa séptica y que cubra las normas de descarga requeridas por la legislación ambiental del país. Este diseño se realizará de acuerdo con el Procedimiento de Diseño para Humedales de Flujo Subsuperficial tomando en cuenta coeficientes cinéticos sugeridos por Kadlec y Knight (1996) y también empleando las ecuaciones de regresión para cada contaminante.

### Método 1.- MODELO k-C\*.

En este modelo se emplea la ecuación siguiente para determinar el área del humedal de flujo subsuperficial que se requiere para tratar el agua de acuerdo a la calidad de la misma, esta ecuación se aplica para: sólidos suspendidos totales, DBO, fósforo total, nitrógeno total, nitrógeno orgánico y coliformes fecales.

$$A = ( 0.0365 Q / k ) \ln (( C_i - C^* ) / ( C_e - C^* ))$$

donde:

A : Área requerida para la remoción del contaminante.

Q : Gasto de entrada al humedal en m<sup>3</sup>/d

C<sub>i</sub>: Concentración del contaminante en la entrada en mg/l.

C<sub>e</sub>: Concentración esperada del contaminante en el efluente en mg/l.

C\* : Línea base del contaminante.

Una vez obtenida el área que se requiere para tratar el agua residual hasta la calidad que se especificó en la ecuación anterior, y para cada contaminante, se elige el área mayor, y se corrige la concentración de cada contaminante en el efluente por medio de:

$$C_o = C^* + (C_i - C^*) \exp(- kA / 0.0365 Q)$$

donde:

C<sub>o</sub>: es la concentración del contaminante en el efluente con el área definitiva.

### Método 2.- Ecuaciones de Regresión.

Se empleo también un método de regresión propuesto por Kadlec y Knight (1996) para comparar los resultados obtenidos con el método anterior. Las ecuaciones de regresión se presentan en la Tabla 1. Una vez obtenida el área definitiva del humedal, se realizará el diseño hidráulico del mismo, revisando primero con la Ley de Darcy y con los criterios sugeridos por los autores antes mencionados.

5.- Una vez concluida la parte del diseño se construirá el humedal minimizando costos y maximizando eficiencia. El procedimiento constructivo se hará conforme a las normas de diseño y construcción que rigen en el ámbito de la Ingeniería Civil.

6.- En base a revisión bibliográfica y sondeos en la región, se seleccionará la especie de la planta acuática más conveniente para el trabajo óptimo del humedal o se decidirá por un procedimiento de autodiseño basado en conceptos de ingeniería ecológica.

7.- Concluida la fase inicial(diseño y construcción), se realizarán muestreos de la calidad del agua en los efluentes de la fosa séptica, humedal y estanque de peces para determinar la eficiencia del sistema.

8.- Así mismo, a través de visitas a campo, entrevista y observación directa se obtendrá información referente a la aceptación de esta tecnología en la comunidad.

Tabla 1. Ecuaciones de Regresión para Diseño del Humedal

PARAMETRO	ECUACIONES DE REGRESION
Demanda Bioquímica de Oxígeno	$Co = 0.11 Ci + 1.87$ $Co = 0.33 Ci + 1.40$
Sólidos suspendidos totales	$Co = 4.7 + 0.09 Ci$ $Co = 7.8 + 0.063 Ci$
Nitrógeno como $NH_4 - N$	$Co = 3.3 + 0.40 Ci$
Nitrógeno como $NO_3 - N$	$Co = 0.62 Ci$
Nitrógeno total	$Co = 2.6 + 0.46 Ci + 0.124 q$ donde: q: tasa de carga hidráulica m/d.
Fósforo total	$Co = 0.51 Ci + 1.10$

Fuente: (Kadlec and Knight, 1996).

## RESULTADOS.

En virtud de que el sistema integral de tratamiento de aguas residuales consta de la restauración de una fosa séptica (Guillén, 1993) y el diseño y construcción de un humedal de flujo subsuperficial, se procedió a la toma de muestras del agua residual de la fosa séptica que la comunidad tiene en servicio, para establecer los parámetros de diseño del humedal. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización del agua residual a la salida de la fosa séptica.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR
Sólidos suspendidos totales (SST)	(mg/l)	74
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	(mg/l)	131
Fósforo total (FT)	(mg/l)	3.58
Nitrógeno total (NT)	(mg/l)	35
Coliformes fecales (CF)	(NMP/100ml)	1.00E+04

Con la información recopilada en campo y de la literatura se procedió a diseñar el humedal y el estanque de peces obteniéndose un área total de 24 m<sup>2</sup>. Con estos datos de diseño, se procedió a la construcción del sistema integral con apoyo de la comunidad y de fuentes externas de financiamiento. Las unidades de tratamiento quedaron de la siguiente manera:

### 1) Fosa séptica.

Gasto de diseño = 2.44 m<sup>3</sup>/día  
 Capacidad = 8,000 litros  
 Longitud = 3.30 m  
 Ancho = 1.50 m  
 Altura = 1.20 m  
 Volumen de agua = 5.4 m<sup>3</sup>  
 Tiempo de retención hidráulica = 2.21 días

### 2) Humedal de flujo subsuperficial.

Gasto de diseño = 2.44 m<sup>3</sup>/día  
 Area requerida = 12 m<sup>2</sup>  
 Longitud = 2 m  
 Ancho = 6 m  
 Altura del agua = 0.6 m  
 Altura del humedal = 0.8 m  
 Medio filtrante = grava triturada de 3/4  
 Tiempo de retención hidráulica = 2.95 días  
 Tasa de carga hidráulica = 20 cm/día

### 3) Estanque de peces.

Gasto de diseño = 2.44 m<sup>3</sup>/día

Area requerida = 12 m<sup>2</sup>

Longitud = 6 m

Ancho = 2 m

Altura del agua = 0.8 m

Densidad de población de los peces = 3 peces/m<sup>2</sup> (propuesto)

Tiempo de cría de los peces = 90 días

Tasa orgánica para DBO<sub>5</sub> = 45 kg/(ha-d)

Las eficiencias teóricas de remoción de contaminantes después del humedal se presentan en la Tabla 3, donde se comparan con las de la norma ecológica. Es importante continuar las evaluaciones de la eficiencia del sistema para compararlas con las eficiencias obtenidas en diseño y también garantizar si se cumple con la normatividad vigente.

Tabla 3. Eficiencias de Remoción en el Humedal de Flujo Subsuperficial.

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida según norma ecológica	Salida esperada según diseño	% de remoción
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	74	60	12.5	83
Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	131	60	21.8	83
Fósforo total (FT)	mg/l	3.6	10	3	15
Nitrógeno total (NT)	mg/l	35	25	25	29
Coliformes fecales (CF)	NMP/100 ml	1.00E4	3000	2880	71

Actualmente se ha iniciado la siembra de cartuchos (*Zantedeschia aethiopica*) para evaluar la remoción con esta planta y adicionalmente proporcionar un beneficio económico para los usuarios ya que estas plantas se cotizan muy bien en el mercado local (Guillén et al., 2001). En cuanto a la operación y mantenimiento del sistema se estima que el costo sea menor a los \$0.60 / m<sup>3</sup> tratado de aguas residuales.

Hasta el momento de escribir este artículo, los alcances que se han tenido son los siguientes:

- 1.- Diseño del humedal para flujo subsuperficial.
- 2.- Procedimiento de cálculo y construcción.
- 3.- Operación del sistema y medición inicial de la eficiencia del mismo.
- 4.- Elaboración de una tesis de maestría titulada "Diseño, Construcción y Operación de un Sistema Integral Biodigestor-Humedal-Estanque de Peces para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas" por Favio Antonio Cancino Carballo.
- 5.- En proceso de elaboración la tesis de licenciatura titulada "Consideraciones sobre los Jacintos de Agua (*Eichhornia crassipes*) y las Lentejas de Agua (*Lemna* spp.) como Contaminantes y su Uso en Sistemas de Tratamiento" por Enoch Manuel Durante Vargas.
- 6.- Resolución inicial de la problemática de la comunidad en lo que respecta a aguas residuales. Sin embargo aún se está en el proceso de evaluar la eficiencia del sistema para ver si se cumplen con las normas ecológicas correspondientes.

### IMPACTO EN LOS USUARIOS.

Los habitantes de la localidad ya cuentan con un sistema integral para el tratamiento de sus aguas residuales domiciliarias. Se han resuelto los problemas inmediatos de contaminación generadas por las aguas residuales. Los usuarios están interesados en el monitoreo del sistema para evaluar la calidad del agua y la alternativa de criar tilapias en el estanque. También se está explorando el uso del cartucho como una planta emergente en el humedal que influya en la remoción de los contaminantes y que adicionalmente tenga un valor económico.

Para las instituciones como la Comisión Estatal del Agua y Saneamiento existe ya una planta piloto para realizar los monitoreos de la eficiencia del sistema y poder replicar este sistema a otras comunidades con características similares.

Para las instituciones académicas con este proyecto se pueden realizar otros proyectos de investigación para evaluar la eficiencia de tratamiento con otras plantas emergentes o con la sustitución del estanque de peces por otro humedal en serie.

## RECOMENDACIONES.

1. Continuar el proceso de monitoreo de tratamiento del agua del sistema integral fosa séptica-humedal-estanco de peces con un plazo mínimo de dos años después de su fase de estabilización.
2. Diseñar un manual para la construcción de un sistema integral de tratamiento con estas características.
3. Presentar estos resultados en congresos y/o eventos internacionales para su difusión y discusión.
4. Continuar con la campaña de concientización de los usuarios para operar y mantener en condiciones adecuadas el sistema de tratamiento.
5. Explorar alternativas de tratamiento con otras plantas emergentes en el mismo proyecto o modificaciones a las unidades de tratamiento.
6. Evaluar la factibilidad de uso del sistema desde el punto de vista económico y de aceptación cultural, a través de análisis de costo-beneficio para obtener un dato real del costo por m<sup>3</sup> tratado y el impacto que tiene además en la salud de los usuarios y del ecosistema.

## REFERENCIAS.

Environmental Protection Agency (EPA). 1993 Subsurface Flow Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: A Technology Assessment.

Guillén-Trujillo, H.A. 1993. Design and Construction of a Baffled Plug-Flow Anaerobic Digester in a Rural Farm in Tropical Southern Mexico. University of Florida. Master Thesis.

Guillén-Trujillo, H.A., J.A. Figueroa-Gallegos y T. L. Crisman. 2001 Performance of Subsurface Flow Constructed Wetlands with and Without Calla Lilies (*Zantedeschia Aethiopica*) for Swine Waste Water Treatment in the Tropics. In press.

Kadlec R.H. and R. Knight. 1996. Treatment Wetlands. Lewis Publishers.

Metcalf and Eddy, Inc. 1996. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tercera edición. volumen I y II.

Secretaría de Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.