



# KUXULKAB'

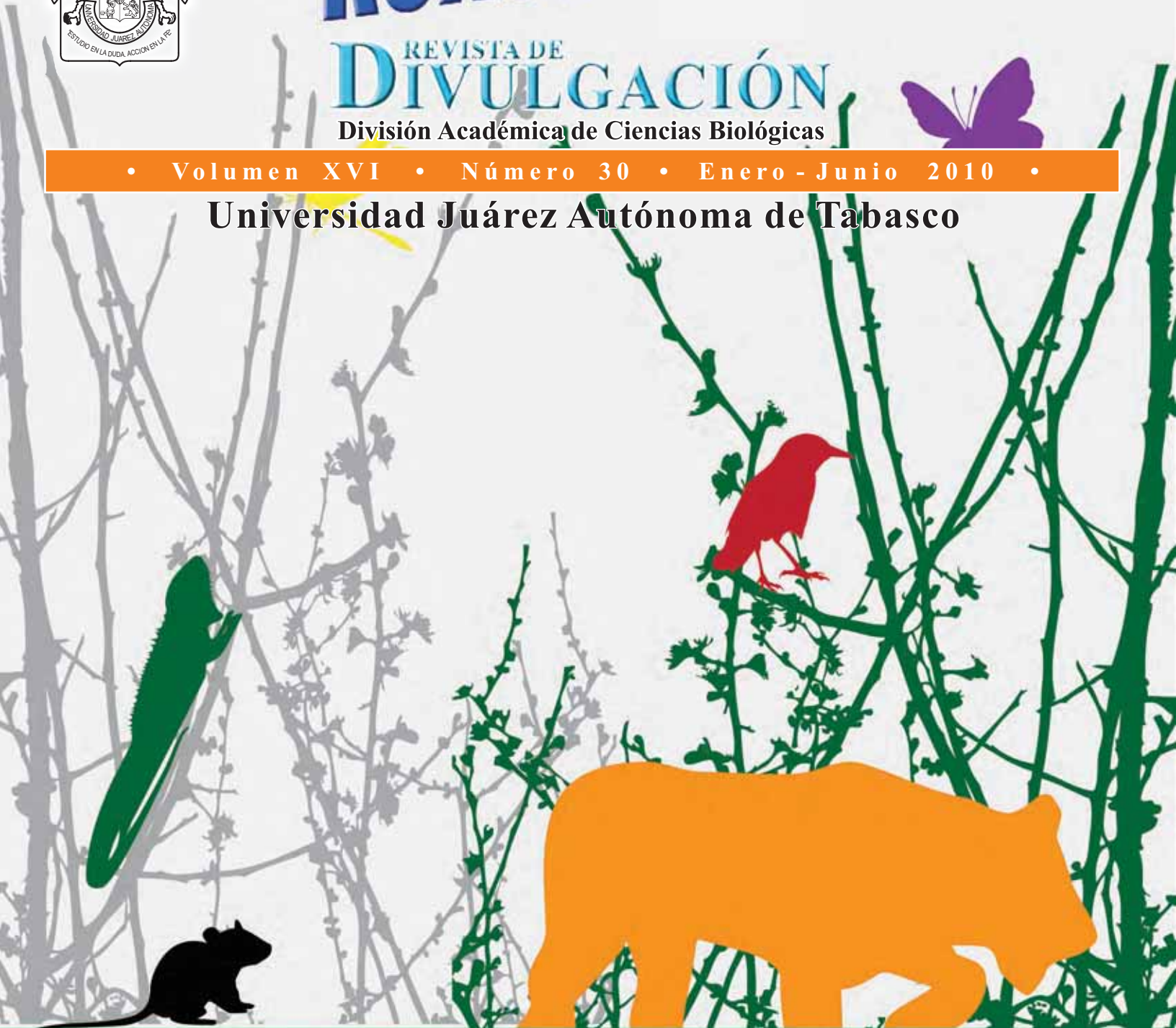
ISSN 1665-0514

## REVISTA DE DIVULGACIÓN

División Académica de Ciencias Biológicas

• Volumen XVI • Número 30 • Enero - Junio 2010 •

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco



2010 / AÑO  
BIODIVERSIDAD



## REVISTA DE DIVULGACIÓN

División Académica de Ciencias Biológicas  
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

*Kuxulkab' Voz chontal - tierra viva, naturaleza*

### CONSEJO EDITORIAL

Dra. Lilia Gama  
**Editor en jefe**

Dr. Randy Howard Adams Schroeder  
Dr. José Luis Martínez Sánchez  
**Editores Adjuntos**

Lic. Celia Laguna Landero  
**Editor Asistente**

### COMITÉ EDITORIAL EXTERNO

**Dra. Silvia del Amo**  
Universidad Veracruzana

**Dra. Carmen Infante**  
Servicios Tecnológicos de Gestión Avanzada  
Venezuela

**Dr. Bernardo Urbani**  
Universidad de Illinois

**Dr. Guillermo R. Giannico**  
Fisheries and Wildlife Department,  
Oregon State University

**Dr. Joel Zavala Cruz**  
Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco

**Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez**  
División Académica de Ciencias Biológicas  
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Publicación citada en:

- El índice bibliográfico PERIÓDICA., índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.  
Disponible en <http://www.dgbiblio.unam.mx>  
<http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab>

KUXULKAB' Revista de Divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas, publicación semestral de junio 2001. Número de Certificado de Reserva otorgado por Derechos: 04-2003-031911280100-102. Número de Certificado de Licitud de Título: (11843). Número de Certificado de Licitud de Contenido: (8443). Domicilio de la publicación: Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco. C.P. 86039 Tel. y fax (93) 54 43 08. Imprenta: Morari Formas Continuas, S.A. de C.V. Heróico Colegio Militar No. 116. Col. Atasta C. P. 86100 Villahermosa, Tabasco. Distribuidor: División Académica de Ciencias Biológicas Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco.

### **Nuestra Portada**

#### **Diseño de Portada por:**

Lilianna López Gama  
Diseño y comunicación visual  
FES Cuautitlán

## Estimados lectores de Kuxulkab´:

**E**l año 2010 ha sido declarado el año Internacional de la Biodiversidad por las Naciones Unidas. Durante el transcurso del mismo, se han organizado y continuarán realizándose eventos y actividades para dar a conocer la importancia de la misma.

La Biodiversidad es la variedad de vida en la Tierra. Es esencial para la sustentabilidad de los sistemas naturales vivos o ecosistemas que nos proveen de alimento, combustibles, salud y otros servicios vitales conocidos como servicios ambientales. Los seres humanos formamos parte de ella y tenemos el poder de protegerla o destruirla. Actualmente la mayoría de nuestras actividades contribuyen a destruirla con tasas alarmantes. Estas pérdidas son irreversibles, empobrecen nuestras capacidades actuales y comprometen las futuras, dañando los sistemas de vida de los que dependemos. Está en nosotros detener y prevenir esto. Debemos organizar esfuerzos para salvaguardar esta biodiversidad y enfocarnos en los retos urgentes que tenemos en nuestro futuro, ya que hoy es el tiempo de actuar y no hacerlo tendrá un muy alto costo.

Como siempre el objetivo de nuestra revista es compartir las actividades de investigación además de temas de interés que se realizan en la escuela, no sólo para nuestra comunidad sino como una aportación a la divulgación de las ciencias ambientales. Los temas son seleccionados de las contribuciones que nos envían para que de forma sencilla permitan conocer el estado de los recursos naturales en especial de aquellos en nuestra región, además de temas relacionados a la atención de problemas ambientales. En este número publicamos una colección de diez artículos y una nota entre los cuales tenemos cinco que tocan directamente aspectos de la biodiversidad y el uso y manejo de los recursos naturales. También se presentan propuestas metodológicas para el análisis de datos meteorológicos y partículas en suspensión, ambos vinculados a problemas ambientales importantes en la región localmente como es la contaminación o en mayor escala como es el cambio global. En esta ocasión se presentan resultados de contribuciones de investigación de campo o bibliográficas que se desarrollan en los cursos de los diferentes programas educativos de licenciatura y posgrado, así como resultados de investigaciones realizadas como tesis o en los proyectos de investigación que los profesores/investigadores llevan a cabo en nuestra escuela.

Como siempre les invitamos a enviarnos sus manuscritos, recordándoles que esta revista se enriquece con las aportaciones de todos los miembros de la comunidad de la División Académica de Ciencias Biológicas, como siempre manteniendo una invitación a que cada vez más estudiantes se incorporen a la divulgación de temas que consideren serán de interés a sus compañeros. Por último, agradecemos a los colegas que desinteresadamente colaboran en el arbitraje que nos permite mantener la calidad de los trabajos.

**Lilia Gama**  
Editor en Jefe

**Wilfrido Miguel Contreras Sánchez**  
Director



---

## Reactores anaerobios aplicados a comunidades rurales

**Luis Alberto Escobedo Cazan**  
**Noemí Méndez de los Santos**  
**Gaspar López Ocaña\***

*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*  
*División Académica de Ciencias Biológicas*  
*Km 0.5 Carretera Vhsa. – Cárdenas*  
*C.P. 86039 Villahermosa, Tab.*  
*\*ocanagl77@hotmail.com*

**Palabras clave:** Agua Residual, RAFA, Lagunas, hidrófitas.

### Resumen

El poblado Morelos, Macuspana, Tabasco, actualmente tiene una población de 650 habitantes generando un gasto medio de aguas residuales de 1.2 L/s, con una concentración promedio de 350 ( $\pm 50$ ) mg/L de DBO5 y 600 ( $\pm 150$ ) mg/L de DQO. Para el año 2030 se prevé un crecimiento de 1700 habitantes y se estima que las aguas residuales estarán alrededor de 3.15 L/s, aportando 35 ton/año de DBO y 60 ton/año de DQO hacia la Laguna Chilapilla, lo que puede provocar la eutrofización del cuerpo ya que es un sistema cerrado y existen 12 comunidades más descargando. La alternativa propuesta para el tratamiento de las aguas residuales fue un sistema híbrido, compuesto por un reactor anaerobio de flujo ascendente, un filtro anaerobio horizontal y un tanque de pulimento de vegetación hidrófita enraizada. Este sistema presenta eficiencias de remoción de DBO de 95.44 %.

### Introducción

En el estado de Tabasco, la mayoría de las comunidades y municipios que se encuentran a las márgenes de ríos y cuerpos de agua, utilizan estos para descargar sus aguas residuales contaminándolos (SAPAET, 2006). En el caso particular de la comunidad de Morelos, Macuspana, Tabasco, no existe un tratamiento de aguas residuales, por ello fue necesario analizar las alternativas de tratamiento que pueden ser aplicadas a las características del sitio, tomando en cuenta los gastos actuales y de proyecto, las

características del agua residual y el sitio más factible para la construcción de la planta (Crites *et al.*, 2000). Actualmente la población está presentando su crecimiento hacia el sur y sureste de la localidad, ya que está limitada geográficamente al norte, noreste y noroeste por la laguna Chilapilla.

Los beneficios que se obtendrán al implementar un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en el poblado Morelos, Macuspana, Tabasco, es en primera instancia proteger la salud del ecosistema lagunar y la salud pública de la localidad, disminuyendo la contaminación y los malos olores producidos por la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual, ya que se presentan fugas importantes en la tubería de conexión de las casas al colector, además de que existen casas que descargan de manera directa las aguas residuales a la laguna Chilapilla. Por ello, se realizó la evaluación de tratamientos biológicos como son Lagunas anaerobias facultativas, un sistema anaerobio de tanques Imhoff y un sistema híbrido realizando la caracterización del agua residual y volúmenes de aguas residuales; para realizar el diseño de tratamiento en función de la eficiencia de los trenes de tratamiento, disponibilidad de terreno y factibilidad de la obra (Noyola, 2000).

Entre los diversos tratamientos de las aguas residuales existen procesos y operaciones unitarias. Las operaciones unitarias dependen esencialmente de las propiedades físicas del agua, como tamaño de la partícula, peso específico, temperatura, etc. Los ejemplos más comunes son: cribado, sedimentación, filtración, etc. Los procesos químicos dependen de las propiedades químicas

del agua, utilizando sustancias o reactivos agregados. Algunos ejemplos de estos pueden ser: La coagulación floculación, Intercambio iónico y la neutralización. Los procesos biológicos que dependen de la reacción de la carga orgánica y biomasa. Estos procesos biológicos pueden ser aerobios como Filtros Percoladores, Biofiltros y Lodos Activados, también anaerobios y facultativos como las Lagunas de Estabilización y Reactores Anaerobios (Noyola, 2000; IMTA, 2003). Las tecnologías de los países en desarrollo como México y América Latina, carecen de recursos suficientes para la operación, por lo que deben de buscar opciones más apropiadas como sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales que utilizan fuentes de energías renovables (Metcalf & Eddy, 1996; Crites *et al.*, 2000; CONAGUA, 2007).

Entre las tecnologías naturales para el tratamiento de las aguas residuales, se tienen dos grandes grupos: los sistemas de aplicación sobre el terreno por un lado y por el otro los sistemas que utilizan plantas acuáticas flotantes y enraizados como los pantanos construidos o artificiales (Reed, 1989; Serrano, 1997; Romero, 1999). Los sistemas convencionales se han utilizado y desarrollado en países industrializados con el objetivo de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua y los sistemas naturales en países en vías de desarrollo, donde además es necesario reutilizar el agua en riego agrícola, para proteger el recurso (Williams *et al.*, 1995; Metcalf & Eddy, 1996).

La mayoría de las plantas de tratamiento en México no funcionan como fueron diseñadas o simplemente se encuentran fuera de servicio, debido a aspectos como:

- 1) Factores de índole técnico entre los que destaca la excesiva mecanización, instrumentación y automatización;
- 2) Factores económicos y financieros;
- 3) Factores institucionales y
- 4) Factores socioculturales (Romero *et al.*, 1996).

El tipo de tratamiento de lagunas anaerobias facultativas puede resultar bastante económico y adecuado para localidades donde se busquen los procesos baratos o no muy costosos y no haya suficiente personal calificado para operar las plantas de tratamiento más sofisticadas. Cuando se cuenta con grandes áreas de terreno poco costoso y no se tiene personal entrenado, puede ser muy

factible la construcción de este tipo de tratamientos, que proporcionan un tratamiento biológico bastante eficiente. En este tipo de unidades se pueden recibir aguas residuales municipales, arrastre producido por precipitaciones, descargas industriales, tanto agropecuarias como de otro tipo, aunque es preferible que sólo llegue a ellas un sólo tipo de agua residual (Serrano, 1997; CONAGUA, 2007).

En el estado de Tabasco de acuerdo con el reporte oficial de SAPAET (2006), existen 93 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, 33 se encuentran fuera de operación y otras 26 registran diversas fallas (Tabla 1). Se indica que la gran mayoría de las plantas en operación descargan las aguas tratadas en ríos y arroyos, sin que se dé ningún rehúso del líquido. En el caso de las plantas que operan con fallas, la mayoría requiere obras de rehabilitación, 8 plantas operan con una eficiencia de tratamiento de 50%, porque no hubo una evaluación al diseño, supervisión de las obras y fiscalización a los recursos ejercidos en las mismas. Sin embargo, se ha observado que para comunidades rurales y descentralizadas se han aplicado tecnologías de tratamiento como lagunas de oxidación, pantanos artificiales y sistemas anaerobios de primera y segunda generación (Imhoff y RAFA) (SAPAET, 2006).

**Tabla 1.** Plantas de tratamiento de aguas residuales que existen en Tabasco.

Tipo de Planta	Construidas	En operación
Biofiltros (anaerobios)	18	15
Filtros rociadores de alto gasto	2	1
Laguna de Oxidación	13	12
Lodos Activados	6	3
Pantanos Artificiales	2	1
R.A.F.A.*	3	3
Tanque Imhoff	48	25
Zanjas de Oxidación	1	0
Total	93	60

**Nota:** \*Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente. Fuente: inventario de plantas de tratamiento en Tabasco SAPAET 2006.

El sistema de alcantarillado del poblado Morelos, Macuspana, Tabasco, es un sistema incompleto, sólo está construido el colector principal A, por lo que la mayoría de las viviendas descargan las aguas residuales de manera directa a la Laguna Chilapilla. Para el poblado Morelos, Macuspana, Tabasco SAPAET y el H. Ayuntamiento de Macuspana, contemplan la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales al sureste

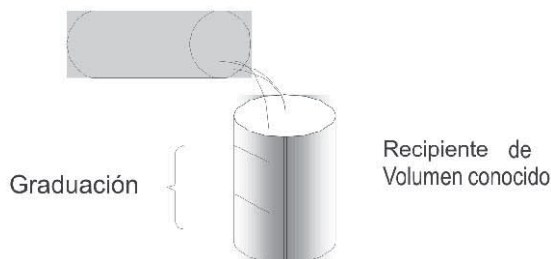
de la localidad, en un terreno que se encuentra a 2 km sobre el costado derecho de la carretera Morelos–Macuspana.

**Materiales y Método**

Las fuentes de contaminación dentro de la comunidad de Morelos, que descargan al sistema de alcantarillado son: taller mecánico, carnicería-rastrero, escuela, centro de salud y las domiciliarias, por ello para obtener una muestra representativa se identificó el sitio ideal para los aforos del agua residual, la toma de muestras de aguas residuales fue en la descarga del Colector Principal, denominando a este punto como la descarga **A (Norte)**. El segundo punto de muestreo sobre el colector hacia el sur denominándola **B**, no obstante se identificó que aproximadamente el 20 % de las viviendas están conectadas al colector y éste descarga a la Laguna, el resto está descargando directamente al cuerpo de agua. Los muestreos se realizaron en base a las normas técnicas (SCFI) y con los criterios de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. El muestreo de las aguas residuales se realizó del 9 al 20 de junio de 2008. (Tabla 2).

El aforo del agua residual que es la cuantificación del flujo volumétrico (gasto o caudal), se realizó en los puntos de descarga A y B del 9 al 20 de junio de 2008. Para esta cuantificación se aplicó un método directo que consistió en preparar un recipiente de volumen conocido (graduado). Posteriormente, se determinó el tiempo en que se llena dicho recipiente y se obtiene el gasto con la relación de la ecuación 1 (figura 1). Como se puede observar, este método es aplicable a descargas con un flujo pequeño, pues en descargas de flujo

mayores a 10 L/s, se pierde la precisión (IMTA y CONAGUA, 2001; Sotelo, 2005).



**Figura 1.** Graduación de la descarga al volumen de control que es el cárcamo.

$$Q = \text{Vol}/T$$

Ec 1

Donde: Q = Caudal (L/s), T = Tiempo (s) y Vol= Volumen (L).

La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales fue realizada por los procedimientos analíticos señalados por las Normas Técnicas Mexicanas y SCFI. Los parámetros como pH y temperatura fueron tomados en campo, en cuanto a los parámetros restantes se realizaron en el Laboratorio de Calidad del Agua del estado de Tabasco.

Las estimaciones de los gastos actuales y de proyecto, se realizaron por los métodos de CONAGUA (2007), considerando para el gasto máximo instantáneo el coeficiente de Harmon de 3.64 y un coeficiente de seguridad de 1.5; para los gastos futuros se calculó la población del proyecto utilizando métodos de proyección de población Aritmético e INEGI (CONAGUA, 2007), con datos estadísticos del INEGI del 2000 al 2007. Con respecto a la carga orgánica (CO) expresada como DBO5 fue estimada con un factor de carga de 56 g/hab/día y una aportación de 160 l/hab/día.

**Tabla 2.** Programa de muestreo en una semana aplicado en ambos sitios

Parámetros	Lunes	Martes	Miérc.	Jueves	Vier.	Sáb.	Domingo	Total de muestras
Temperatura	2	2	2	2	2	2	2	14
pH	2	2	2	2	2	2	2	14
Sólidos	2	2	2	2	2	2	2	14
Nitrógeno	2	2	2	2	2	2	2	14
Fósforo	2	2	2	2	2	2	2	14
G v A	2	2	2	2	2	2	2	14
DBO	1	1	1	1	1	1	1	7
DQO	1	1	1	1	1	1	1	7
Coliformes	1	1	1	1	1	1	1	7
Metales	1	1	1	1	1	1	1	7

El análisis de la precipitación, evaporación y temperatura ambiental, se realizó con el análisis de datos proporcionados por la CONAGUA de la estación metereológica de la ciudad de Macuspana, la cual contiene datos históricos desde 1993 a 2005 para la precipitación, temperatura y evaporación.

**Ecuaciones de gastos teóricos:**

Aportación:	$A_p=0.8 \text{ Dot}$	(L/hab/día)	Ec 2
Gasto medio:	$Q_{\text{med}} = (A_p * P_p) / 86,400 =$	(L/s)	Ec 3
Gasto mínimo:	$Q_{\text{min}} = 0.5 Q_{\text{med}}$	(L/s)	Ec 4
Gasto máximo instantáneo	$Q_{\text{máx. inst}} = Q_{\text{med}} * M$	(L/s)	Ec 5
Coefficiente de Harmon (M)	$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P_p}{1,000}}}$	Adimensional	Ec 6
Gasto máximo extraordinario:	$Q_{\text{máx. ext}} = Q_{\text{máx. inst}} * 1.5$	(L/s)	Ec 7
Volumen diario:	$V_d = Q_{\text{med}} * 86.4$	(m <sup>3</sup> /día)	Ec 8
Flujo másico:	$P_0 = P_p * CO$	(Kg/día)	Ec 9
DBO Teórica:	$C_0 = (P_0 / V_d) * 1000$	(mg/L)	Ec 10

Donde: Dot es la dotación de agua potable (L/hab/día), Pp es la población de proyecto (hab). 86.4 es un factor de conversión de unidades en L/s a m<sup>3</sup>/día. CO es la carga orgánica teórica de DBO (g/hab/día).

Con los datos obtenidos del agua residual a tratar, el sitio propuesto para la construcción de la planta, la población y los gastos de proyecto, se desarrolló el diseño de los tratamientos de aguas residuales propuestos que son las Lagunas, Humedales artificiales y reactores anaerobios de flujo ascendente conforme a los criterios de CONAGUA(2007).

**Resultados**

Para la localidad de Morelos se estimó el gasto teórico actual de aguas residuales con una dotación de 200 L/hab/día (datos de operación en pozo), para una población de 1,700 habitantes, los gastos estimados fueron: Qmed= 3.15 L/s, Qmin= 1.57 L/s, Qmax inst= 11.46 L/s y Qmax ext = 17.19 L/s. Los gastos determinados teóricamente no concuerdan con los del área de estudio debido a que no todas las viviendas están conectadas al alcantarillado y además existen pérdidas por filtraciones y evaporación del agua residual; los resultados fueron Qmed= 0.7 L/s, Qmin= 0.4 L/s y Qmax inst= 1.2 L/s (Figura 2).

En la tabla 3 se muestran las características promedios del agua residual de los puntos de

muestreo A y B. Las temperaturas del agua y ambiental obtenidas durante los monitoreos presentaron un promedio de 27 y 29 °C, en este sentido la temperatura del agua residual presenta características idóneas para el crecimiento de los microorganismos mesófilos que son los más usuales en los consorcios bacterianos de degradación del agua residual (Noyola *et al.*, 2000). Los valores de pH oscilan entre 7.1 y 7.4, lo que nos indica que el tratamiento que se le puede dar a esta agua residual puede ser un tratamiento biológico. Los valores de SST presentan un promedio de 260 mg/l, con este parámetro podemos estimar la cantidad de materia suspendida a sedimentar, mientras que los SSV que están en el rango de 117 a 235 mg/L nos muestran indirectamente la cantidad de biomasa en el agua residual (Crites *et al.*, 2000).

Los valores de la DQO están en el rango de 458 a 665 mg/L; en cuanto a la DBO se encontraron en valores de 225.8 a 343.9 mg/l. En cuanto a nutrientes rebasan los límites establecidos en la Normatividad Oficial y los metales pesados no se encontraron presentes en las aguas residuales. El agua del municipio en general puede considerarse por su concentración como un agua de características débil a media establecida por Metcalf y Eddy (1996). Analizando los flujos másicos que sólo esta comunidad genera de SST, DBO y DQO y que descargan a la laguna, podemos estimar que el aporte promedio de sólidos al cuerpo lagunar es 6.02 ton/año, por carga orgánica de DBO es de 7.37 ton/año y 12.62 ton/año de DQO.

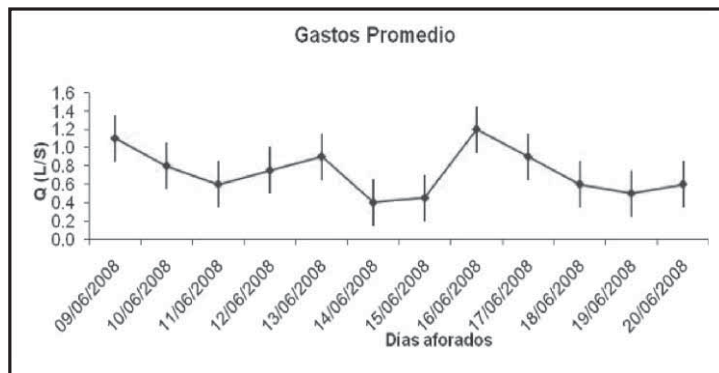


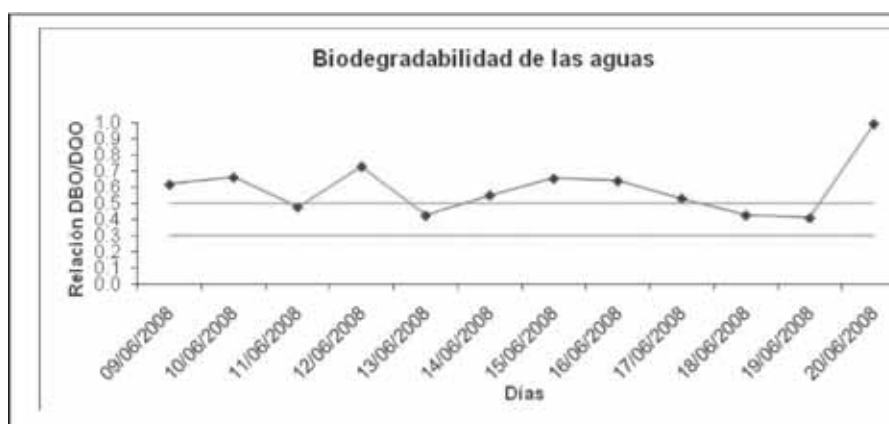
Figura 2. Error estándar que presentan los aforos.

La relación DBO/DQO, nos muestra la biodegradabilidad de las aguas residuales (Crites *et al.*, 2000), y se clasifican como aguas tóxicas



**Tabla 3.** Caracterización Físicoquímica promedio del Agua en las descargas monitoreadas

Parámetro	Desc. A	Desv.	Desc. B	Desv.	LMP NOM-001
Temperatura ambiental (°C)	29.9	± 3	29.8	± 3	
Temperatura agua (°C)	27.0	± 1.5	27.9	± 1.5	40
pH	7.3	± 0.1	7.2	± 0.1	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	284.8	± 59	300.0	± 20	30
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	536.5	± 78	575.0	± 90	
Grasas y aceites (mg/L)	186.0	± 40	166.0	± 40	15
Sólidos sedimentables (ml/L)	48.8	± 10	46.4	± 10	1
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	260.0	± 32	260.0	± 40	40
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	173.0	± 30	175.0	± 15	
Nitrógeno total (mg/L)	25.75	± 1.5	24.65	± 1.5	15
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	12.50	± 1.5	13.55	± 1.5	
Nitrógeno orgánico (mg/L)	3.5	± 5	10.0	± 5	
Fósforo (mg/L)	9.0	± 5	14.0	± 2	5
Coliformes totales NMP/100	25000		24000		1000
Coliformes fecales NMP/100	12000		12000		1000
Cadmio Cd (mg/l)	N.D		N.D		0.1
Cobre Cu (mg/l)	N.D		N.D		4
Cromo Hexavalente Cr (+6) (mg/L)	N.D		N.D		0.5
Níquel Ni (mg/L)	N.D		N.D		2
Plomo Pb (mg/L)	N.D		N.D		0.2
Zinc Zn (mg/L)	N.D		N.D		10



**Figura 3.** Biodegradabilidad de las aguas residuales de la localidad de Morelos, Macuspana, Tabasco.

Laguna Facultativa-anaerobia	Anaerobio 1	Anaerobio 2
Rejillas-Desarenador	Rejillas-Desarenador	Rejillas-Desarenador
Laguna anaerobia	Tanques Imhoff	RAFA
Laguna facultativa	Biofiltro	Biofiltro
Laguna de pulimento	Cloración	Tanque de pulimento
Biofiltro		

**Tabla 4.** Procesos y operaciones unitarias en los sistemas propuestos

aquellas que presentan una relación menor a 0.3, las aguas con valores mayores de 0.3 y menores a 0.5 son clasificadas como aguas muy difíciles de degradar. Finalmente las aguas residuales con valores superiores a 0.5 son aguas que sí pueden degradarse fácilmente con métodos biológicos convencionales y naturales. El análisis de biodegradabilidad de las aguas (Figura 3), presenta que la mayor parte, el agua está dentro de los parámetros de aguas de fácil degradación. Esto nos indica que es factible realizar el tratamiento de las aguas mediante procesos biológicos como son naturales aerobios o anaerobios (Noyola, 2000; Romero, 1996 y 1999).

Los diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales planteados para la localidad de Morelos, son considerados como sistemas de tratamiento convencionales anaerobios y naturales, a continuación presentamos las operaciones y procesos unitarios que conformaron los trenes (Tabla 4).

El área para la construcción de la planta es de 2500 m<sup>2</sup>, por lo que las 3 alternativas están dentro del área contemplada, siendo la que ocupa menos área la alternativa 2 y 3 con 1600 m<sup>2</sup>, la alternativa de las lagunas requieren un área de 3500 m<sup>2</sup>. La eficiencia de remoción de DBO de las alternativas evaluadas es la siguiente: el sistema de lagunas y el reactor RAFA alcanzan una eficiencia de remoción de 95.44%, y el de menor eficiencia es el sistema acoplado de tanque Imhoff-filtro anaerobio con 90.8%, en ese sentido los tratamientos más viables en cuanto a eficiencia son la Laguna Anaerobia-Facultativa-Maduración y el reactor RAFA, ya que a pesar de que no se necesitará del suministro de reactivos para ayudar al tratamiento de las aguas residuales presentan buenos resultados en su diseño.

La diferencia en estos sistemas independientemente del proceso y funcionalidad, radica principalmente en el área a ocupar en su instalación lo que hace más factible de utilizar a un sistema RAFA (Tabla 5). Por razones de construcción, mano de obra y operación, son recomendados generalmente los sistemas de Lagunas, ya que en construcción sólo se requieren los bordos perimetrales mientras que los reactores anaerobios requieren de mayor aplicación

**Tabla 5. Datos de Proyecto**

Datos de proyecto	
Población de proyecto	1700 hab
Q med.	/s
Q min.	1.57 L/s
Q max. inst .	11.46 L/s
Q max. ext.	17.19 L/s
Carga orgánica unitaria	56 g/hab/día
Carga orgánica total	95 kg/día
Concentración	350 mg/L
Reactor (Anaerobio)	
T.R.	24 hr
Volumen del tanque	272 m <sup>3</sup>
Concentración de entrada	332.5 mg/L
Concentración de salida	133.0 mg/L
Eficiencia mínima	50 %
Eficiencia máxima	60%
Tirante	3.0 m
Biofiltro (Anaerobio)	
T.R.	2.5 hr
Volumen del tanque	28.3 m <sup>3</sup>
Concentración de entrada	133.0 mg/L
Concentración de salida	53.2 mg/L
Eficiencia mínima	50 %
Eficiencia máxima	60 %
Tirante	1.5 m
Estanque (Pulimento)	
T.R.	4 hr
Volumen del tanque	45.3 m <sup>3</sup>
Concentración de entrada	53.2 mg/L
Concentración de salida	16.0 mg/L
Eficiencia mínima	60 %
Eficiencia máxima	70 %
Tirante	1.3 m
Datos del sistema	
Descarga a cuerpo receptor	Embalse Natural, Uso Publico Urbano
Nombre del Cuerpo	Laguna Chilapilla
Eficiencia requerida	89.5 – 91.4 %
Eficiencia total del proceso	90.0 – 95.4 %

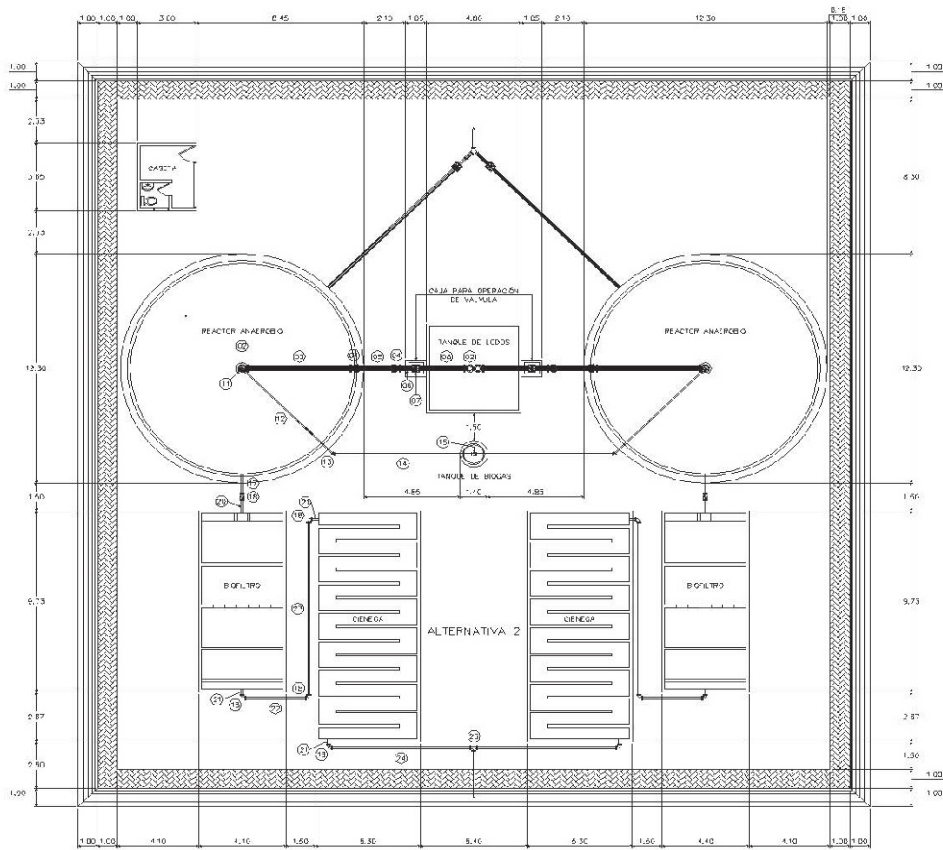


Figura 4.- Planta de Conjunto del Sistema Anaeróbico de Flujo Ascendente.

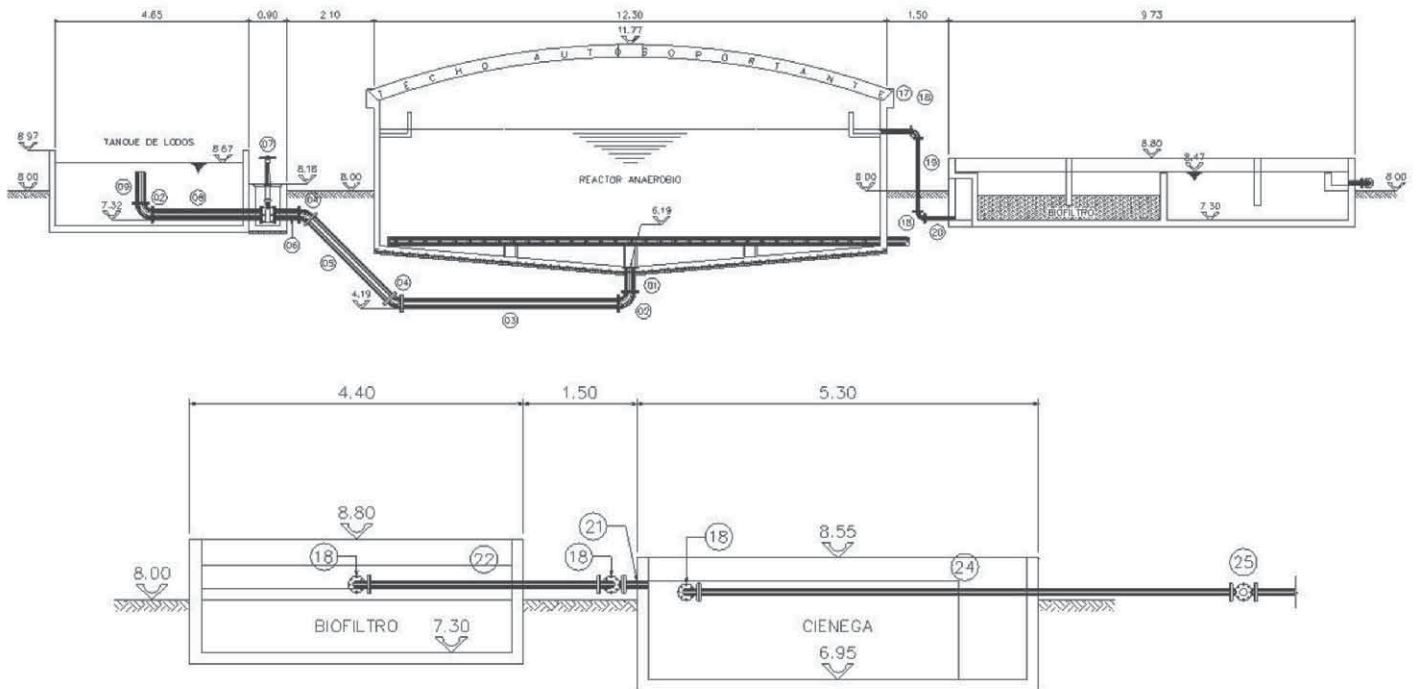


Figura 5. Cortes Transversales del Sistema Anaeróbico de Flujo Ascendente.

tecnológica; la mano de obra para la operación de ambas alternativas es mucho más barata ya que no es especializada pues el personal sólo realizará supervisiones y tomarán muestras para corroborar el buen funcionamiento de la planta, aunado a las actividades de mantenimiento preventivo. El agua residual será ingresada a la planta por un sistema de bombeo, el cual someterá el agua residual previo al ingreso a la planta a un sistema de rejillas y desarenador donde serán removidas partículas discretas y arenas cada 3 días ( $0.05 \text{ m}^3$ ), posteriormente ingresará al reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) donde tendrá un tiempo de retención de 24 hr. En este reactor el agua residual que se quiere tratar entra por la parte inferior del reactor. El agua residual fluye en sentido ascendente a través de un manto de lodos constituido la acumulación de biosólidos.

El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y las partículas, es decir, al pasar por la capa de lodo estabilizado, rico en bacterias anaerobias, sufre una degradación (Crites *et al.*, 2000). El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo retiene el lodo por la incorporación de deflectores decantadores y separadores de gases en la parte superior del reactor. Los lodos son distribuidos uniformemente por el fondo del mismo, los cuales son purgados por la carga hidráulica del sistema hacia un estanque para su estabilización final; el efluente tratado es recogido en canaletas en la parte alta del reactor y el gas, conteniendo como principal componente el  $\text{CH}_4$ , es conducido para su quema o recuperación (Figura 4).

Después de pasar por el RAFA el agua es sometida a otro proceso de tratamiento biológico de baja tasa. Este sistema es concreto al igual que el reactor y presenta como medio filtrante grava, la ventaja de este sistema es que puede funcionar intermitentemente, sin embargo, el proceso inicia poco tiempo después de que el agua entra en contacto con el medio filtrante, al agregarse una película bacteriana en las capas de contacto con el medio filtrante (Figura 5). Esta película bacteriana mediante la absorción retiene los microorganismos, materia coloidal soluble y particulada que provienen el agua residual sedimentada o después del proceso de digestión, este material retenido es descompuesto y oxidado. La materia orgánica

soluble se asimila casi de manera instantánea, mientras que el material coloidal se solubiliza enzimáticamente, el material soluble atraviesa la membrana celular y así se convierten en productos finales de la degradación (Crites *et al.*, 2000). Debido a la configuración y alimentación del sistema una vez adaptado el sistema la acumulación de sólidos será mayor en las primeras capas de contacto del filtro. Estas unidades se ven directamente influenciadas por la velocidad del agua y puede arrastrar la biopelícula del medio de soporte (Emerik, *et al.*, 1997, citado en Crites *et al.*, 2000).

Finalmente el agua residual será sometida a un estanque con vegetación hidrófita flotante por la especie *E. Crassipes* (Jacinto), cuya finalidad es la remoción de nutrientes específicos como nitratos y fosfatos mediante la estructura de sus raíces, pues en ellas se fijan bacterias las cuales biodegradan compuestos orgánicos; filtran, sedimentan, nitrifican y desnitrifican sólidos suspendidos y nitrógeno; absorben por sus raíces metales pesados y componentes orgánicos y provocan el decremento y prelación de organismos patógenos (Folch *et al.*, 2000; Guodong *et al.*, 2002; Solano, 2004 y Ramos, 2007).

## Conclusiones

El volumen actual de descarga de aguas residuales en la localidad Morelos, Macuspana, Tabasco presenta como gasto mínimo de 0.4 L/s, 0.71 L/s como gasto medio y un máximo instantáneo de 1.2 L/s. Los gastos de proyecto para la planta (20 años) son: gasto mínimo 1.57 L/s, 3.15 L/s gasto medio y 17.18 L/s como gasto máximo extraordinario.

La temperatura del agua está dentro de norma ya que estas temperaturas (27 a 27.9 °C) no pasan el valor 40 °C; las grasas y aceites rebasan el límite permisible con 186 y 166 mg/L, siendo el límite permitido de 15 mg/l y el promedio en nuestra descarga es de 176 mg/L; los SST rebasan la norma 260 mg/L y el límite permitido es de 40 mg/L; la DBO rebasa la norma con 284.8 y 300 mg/L y el límite permitido es de 30 mg/L.

La biodegradabilidad se encuentra por momentos en el rango de aguas de difícil degradación, sin embargo, la mayor parte del

tiempo la descarga presenta una relación DBO/DQO se encuentra mayor a 0.5, lo que permite clasificar al agua residual de la comunidad como biodegradable.

Los sistemas de lagunas de estabilización y el reactor RAFA presentan la mayor eficiencia en la evaluación de procesos con 95.44 % de eficiencia de remoción de DBO. Sin embargo la menor área la ocupan los reactores RAFA con 1600 m<sup>2</sup>. No obstante se propone como alternativa más viable para su construcción al reactor RAFA por disponer un área menor y presentar costos de construcción muy similares.

### Literatura Citada

**Crites, R., Tchobanoglous, G.** 2000. Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados. Tomos 1, 2 y 3. Traducido de la primera edición en inglés. Bogotá, Colombia. (2000). 1082 pág.

**Comisión Nacional del Agua, CONAGUA.** 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diciembre, México DF.

**Emerik, R. W., Tchobanoglous, G., and Darvi J. L.** 1997. Use of sintered glass as a Medium Intermittently Loaded Wastewater Filters: Removal and Fate of virus, Proceedings of the Water Environment Federation 70th. Annual Conference and Exposition, Chicago, IL.

**Folch, M., Huertas E., Salgot M.** 2000. Zonas Húmedas Artificiales como Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeños Núcleos Urbanos: El caso de ELS HOSTALETS DE PIEROLA (BARCELONA), Manual de agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamiento avanzados de aguas residuales domésticas, capítulo 17, Pp. 199-205.

**Guodong J., Sun T., Zhou Q., Sui X., Chang S., Li P.** 2002. Constructed Subsurface Flow Wetland for Treating Heavy Oil-Produced Water of the Liaohe Oilfield in China, Ecological Engineering 18 (2002), Pp. 459-465.

**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.** Cuadernos Estadísticos Municipales

de Macuspana, Tabasco 2000 - 2005.

**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA.** 2003. Curso Teórico Práctico. Tratamiento de Lodos Residuales. Jiutepec, Morelos. 310 págs.

**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Comisión Nacional del Agua.** 2001. Serie Autodidáctica de Medición del Agua. Subdirección General de Administración del Agua, CNA; Coordinación de Tecnología Hidráulica, IMTA. México DF.

**Metcalf y Eddy.** 1996. Wasterwater Ingeneering. Treatment, Disposal and Reuse. Mc Graw Hill. Tercera edición Tomos 1 y 2. 1485 pág.

**NOM-001-SEMARNAT-1996.** Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. (Aclaración D.O.F. 30-abril-1997).

**Noyola R., A., Vega G., E., Ramos H., J. G., Calderón M., C.** 2000. Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Tercera edición. Manuales IMTA. México. (2000).

**Ramos, E. M. G., Rodríguez, S. L. M., Martínez C. P.** 2007. Uso de Macrófitos Acuáticas en el Tratamiento de Aguas para el Cultivo de Maíz y Sorgo.; Hidrobiología 2007, 17 (1 suplemento): 7-15.

**Redd, S.E. Middlebrookx y R.A Crites.** 1989. Natural Systems for Waste Management and Treatment

**Romero Álvarez, H., J. Garcia Ollervides y J. Janetti Davila.** 1996. Las vicisitudes de las plantas de tratamiento de las aguas residuales en México. Memoria XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México DF 3-7 Noviembre.

**Romero Álvarez H.** 1999. Lagunas de estabilización, Alternativa de México para manejar aguas residuales. Ingeniería y ciencias Ambientales Rev. No. 10.

**SAPAET** (2006). Inventario de las plantas de tratamientos de aguas residuales

**Serrano E. L.** 1997. Las aguas residuales y sus tratamientos. El agua factores de control y su contaminación. ERCA, S.A. de C. V. México D.F.

**Solano M. L., Soriano P., Ciria M.P.** 2004. Constructed Wetlands as a Sustainable Solution for Wastewater Treatment in Small Villages; Biosystem Engineering (2004), 87(1), 109-118.

**Sotelo, G.** 2005, Hidráulica General I, Fundamentos. México, D.F. 561pág.

**Williams, J., M. Bahgat, E. May, M. Ford y J. Butler.** 1995. "Mineralisation and Pathogen Removal in Gravel Bed Hydroponics Constructed Wetland". Wat. Sci. Tech.



# CONTENIDO

<b>Producción de biogás a partir del residuo gástrico-ruminal de ganado bovino en el trópico húmedo</b> JOSÉ RAMÓN LAINES CANEPA, JUAN CARLOS ADOLFO FERNÁNDEZ WITT, ISRAEL MIRANDA ÁVILA, GUILLERMO MORALES PANIAGUA .....	5
<b>Reactores anaerobios aplicados a comunidades rurales</b> LUIS ALBERTO ESCOBEDO CAZAN, NOEMÍ MÉNDEZ DE LOS SANTOS Y GASPAR LÓPEZ OCAÑA .....	9
<b>Herpetofauna asociada a ambientes urbanos y suburbanos de Villahermosa, Tabasco, México</b> MA. DEL ROSARIO BARRAGÁN VÁZQUEZ, CLAUDIA ELENA ZENTENO RUIZ, CAROLINA SOLIS ZURITA, MARCO ANTONIO LÓPEZ LUNA, ERICK HERNÁNDEZ ESTAÑOL, MOISÉS MARTÍNEZ ZETINA, LILIANA RÍOS RODAS, JOAQUÍN A. HERNÁNDEZ VELÁZQUEZ, YOLANDA RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, DAVID PEREGRINO REYES, GUSTAVO RODRÍGUEZ AZCUAGA Y MARIANA DEL C. GONZÁLEZ RAMÓN .....	19
<b>Comparación de la riqueza de especies del orden Chiróptera en México y Colombia</b> CONTRERAS GARCÍA MARÍA DE JESÚS, PÉREZ PÉREZ ROSA AURORA, ARÉVALO JIMÉNEZ JUAN ARMANDO, SÁNCHEZ CARRIZOSA KARINA Y MIRCEA G. HIDALGO MIHART .....	27
<b>Uso medicinal de la Familia SOLANACEAE en Tabasco</b> MIGUEL ALBERTO MAGAÑA ALEJANDRO Y CARLOS MANUEL BURELO RAMOS .....	33
<b>Los escombros como agregados en la industria de la construcción</b> NOEMÍ MÉNDEZ DE LOS SANTOS, CARLOS RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, NÉSTOR CRUZ GÓMEZ, JOSÉ RAMÓN LAINES CANEPA .....	37
<b>Evaluación preliminar del extracto de pituitaria de carpa y de la gonadotropina coriónica humana en la calidad espermática de <i>Cichlasoma urophthalmus</i></b> MARÍA J. CONTRERAS-GARCÍA, LENIN ARIAS-RODRÍGUEZ, ROSA A. PÉREZ-PÉREZ, Y TERESA J. MANRÍQUEZ-SANTOS .....	47
<b>Diseño del software de análisis de datos meteorológicos: Fase de prueba</b> E. MAGAÑA-VILLEGAS, S. RAMOS-HERRERA, J.M. CARRERA-VELUETA, J.R. HERNÁNDEZ- BARAJAS .....	55
<b>Ecoturismo en áreas naturales protegidas ¿Una alternativa para el desarrollo económico rural?</b> CAROLINA ZEQUEIRA LARIOS, LILIA MA. GAMA CAMPILLO, MA. ELENA MACÍAS-VALADEZ Y JOSÉ RAMÓN LAINES CANEPA .....	63
<b>Análisis temporal de la concentración de partículas pm<sub>10</sub> en Villahermosa, Tabasco</b> SERGIO RAMOS-HERRERA, RAÚL BAUTISTA-MARGULIS, ARTURO VALDEZ-MANZANILLA Y MANUEL ESTEBAN-CASTRO .....	69
<b>NOTA</b>	
<b>Biotechnología ambiental: Un acercamiento a la química y a los compuestos Xenobióticos</b> RODOLFO GÓMEZ CRUZ .....	77
Proyectos de investigación en desarrollo con financiamiento externo .....	81
Eventos Académicos 2010.....	89
Avisos.....	93
Instrucciones para publicar en Kukulkab'.....	

