



ISSN 1665-0514

KUKULKAB'

REVISTA DE
DIVULGACIÓN

División Académica de Ciencias Biológicas

• Volumen XVII • Número 33 • Julio - Diciembre 2011 •

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco



REVISTA DE DIVULGACIÓN

División Académica de Ciencias Biológicas
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Kuxulkab' Voz chontal - tierra viva, naturaleza

CONSEJO EDITORIAL

Dra. Lilia Ma. Gama Campillo
Editor en jefe

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

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo
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 Teléfono Conmutador: 358 15 00 ext. 6400 Teléfono Divisional: 354 43 08, 337 96 11. Dirección electrónica: <http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab> 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

Instalaciones del Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales "CICART" (DACBiol - UJAT).

Diseño de Portada por:

Lilianna López Gama

Fotos:

Lilly Gama

Estimados lectores de Kuxulkab':

Durante el transcurso del 2011 se realizó una importante cantidad de eventos ambientales en los que profesores y estudiantes de nuestra División participaron divulgando las actividades que realizamos, lo que refleja la dinámica que se tiene de trabajo.

Kuxulkab' es otro medio más de divulgación importante en nuestra División, el objetivo de nuestra revista es hacer llegar a nuestros lectores de forma sencilla y agradable temas de interés general además de darles a conocer las líneas de investigación y actividades que se hacen en nuestra División como una contribución a la divulgación de las ciencias ambientales en la universidad, el estado y la región, entre los documentos que nos envían, seleccionamos temas que les comuniquen cual es la situación de los recursos naturales en especial de nuestro Estado, además de algunos otros temas que describan problemas ambientales locales. Este número contiene una colección de once artículos y tres notas. Los temas de los artículos se relacionan a asuntos ambientales de preocupación local y regional como es las especies y su uso y aprovechamiento, el manejo de residuos así como el uso y aprovechamiento del agua y la energía solar. Los artículos incluidos destacan investigaciones que se llevaron a cabo en nuestra escuela tanto por alumnos como por profesores/investigadores en los que comparten resultados de cursos, investigaciones ambientales y estudios realizados entre nuestra población estudiantil con lo que refrendamos nuestro compromiso en tener una puerta abierta para que todos los que realizan actividades en nuestra División tengan un espacio de comunicación. Nuestros artículos divulgan resultados de investigación de campo o bibliográficas que se desarrollan en los laboratorios, cursos 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.

Les invitamos a seguir enviándonos sus manuscritos, haciendo una especial invitación a que cada vez más estudiantes se incorporen a la divulgación de temas que consideren serán de interés a sus compañeros y cuyos resultados de sus investigaciones comparten con nosotros. Como siempre agradecemos a los colaboradores interesados en la divulgación y que comparten con nosotros temas de interés general así como los resultados de sus proyectos. Con un sincero reconocimiento a los colegas que desinteresadamente colaboran en el arbitraje que nos permite mantener la calidad de los trabajos.

Lilia Gama
Editor en Jefe

Rosa Martha Padrón López
Directora

División Académica de Ciencias Biológicas
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco



Sistemas naturales aplicados en el tratamiento de las aguas residuales de Tenosique, Tabasco

**Gaspar López Ocaña,
Santiago Palma Ávalos y
Roberto Carlos Díaz Paz**

*División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT.
Km 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas CP. 86039.
Villahermosa, Tabasco, México. Tel-Fax 993-3544308
ocanagl77@hotmail.com*

Resumen

Tenosique descarga aguas residuales domésticas e industriales al río Usumacinta, la recolección de estas se hace mediante el arroyo Chaschin, colector principal de aguas residuales y escurrimientos pluviales, recibiendo más del 70% de las descargas de la ciudad que no reciben tratamiento previo a su vertido. La población de 32,702 habitantes genera un Qmed de aguas residuales de 87.5 l/s con concentraciones altas de contaminantes básicos que rebasan los LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996, tales como GyA con 284.76 mg/l, SST con 350 mg/l, DBO de 378 mg/l, coliformes totales con 16900 nmp/100ml, etc. Las alternativas de tratamiento evaluadas muestran que el sistema más factible para el tratamiento de estas aguas es la combinación de lagunas anaerobia-facultativa-maduración con un 95% de eficiencia de remoción de DBO, siendo la tecnología más económica, de fácil de construcción y menor costo de operación.

Introducción

En Tabasco, las comunidades y municipios que se encuentran en las márgenes de ríos y cuerpos de agua utilizan estos para descargar sus aguas residuales contaminándolos, pues aunque ya algunas cuentan un tratamiento primario o secundario, regularmente son descargados a cuerpos receptores cerrados que no tienen capacidad de depuración (SAPAET, 2006). En el caso particular de la ciudad de Tenosique no existía un tratamiento de aguas residuales hasta el año 2006, para implementar dicho sistema fue necesario analizar las alternativas de recolección y de tratamiento considerando los gastos actuales y de

proyecto, las características del agua residual, las características del sitio como son mecánica de suelo, topografía, etc., y factibilidad de construcción de la planta cumpliendo términos de referencia establecidos por el contrato No. SAPAET-POA-007/2004 (SAPAET, 2004) y criterios de diseño establecidos por CONAGUA (2003). Actualmente la ciudad está proyectando su crecimiento hacia el sur, suroeste y oeste ya que está limitada geográficamente al norte y noroeste por el río Usumacinta. Los beneficios de tratar estas aguas residuales son: proteger la salud de los ecosistemas, disminuir la contaminación y los malos olores producidos por la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual del canal el Chaschin, que es el emisor principal de las aguas residuales al río Usumacinta y proteger la salud pública de la ciudad. Actualmente en la localidad se concluye el sistema de recolección y sistemas de bombeo para iniciar la operación del sistema total de saneamiento en 2011.

Para determinar qué tipo de tratamiento requerían las aguas residuales fue necesario realizar los estudios básicos y proyectos complementarios establecidos por CONAGUA (2003), aplicándose los criterios de diseño de las unidades de tratamiento se desarrollaron diseños de tratamientos biológicos como son Lagunas de estabilización, Lodos Activados y Biofiltros realizando síntesis de procesos, el diseño de ingeniería básica del tratamiento en función a la eficiencia requerida, viendo la disponibilidad de terreno y factibilidad de la obra (IMTA, 2003; CONAGUA 2003). Las tecnologías avanzadas de los países desarrollados en México y América Latina, se han aplicado favorablemente durante los primeros años de operación pero con el paso del

tiempo carecen de recursos suficientes para la operación, por ello CONAGUA ahora sugiere que se implementen tecnologías sustentables y en la actualidad se han aplicado tecnologías más apropiadas como sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales que utilizan fuentes de energías renovables, mientras que los convencionales utilizan fuentes de energías no renovables (Metcalf, 1996; Romero, 1999, 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 artificiales (Reed, 1989, Crites *et al.*, 2000). 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).

La mayoría de las plantas de tratamiento construidas en México no funcionan como se previó en el diseño o simplemente se encuentran fuera de servicio, debido a aspectos como los siguientes: 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. El tratamiento con lagunas de estabilización ha resultado bastante económico y adecuado para localidades donde se buscan procesos baratos y no haya suficiente personal calificado para operar las plantas de tratamiento, además que estos sistemas son de fácil construcción y proporcionan un tratamiento biológico bastante eficiente (Romero *et al.*, 1996, CONAGUA, 2006). En este tipo de unidades se puede 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 solo tipo de agua residual (Serrano, 1997). El inventario nacional de PTAR doméstica (CONAGUA, 2006), señala que existen 1593 plantas construidas y operando. De acuerdo a su proceso 3 son aerobio, 25 anaerobio, 9 biológico, 7 biodiscos, 9 dual, 43 filtros percoladores, 74 fosas sépticas, 8 fosas sépticas-filtro biológico, 40 fosas séptica-wetland, 51 wetland, 19 lagunas aireadas, 622 lagunas de

estabilización, 372 lodos activados, 17 primario avanzado, 15 primario o sedimentación, 6 RAFA-filtro biológico, 116 RAFA, 4 RAFA-wetland, 50 reactores enzimáticos, 15 sedimentación-wetland, 50 tanque Imhoff, 13 tanque Imhoff-filtro biológico, 2 terciarios y 23 zanjas de oxidación. En Tabasco existen 60 PTAR domésticas distribuidas en 15 municipios, el 56.6% de los sistemas de tratamiento con tanque Imhoff, es decir, un tratamiento primario. Cabe mencionar que este tipo de tratamientos se ha utilizado para el tratamiento de aguas de pequeñas comunidades o comunidades descentralizadas (SAPAET, 2006). Las ciudades de Paraíso y Emiliano Zapata cuentan con filtros percoladores (en el segundo esta fuera de operación), las ciudades de Balancán, Cunduacán, Cárdenas y Comalcalco cuentan con sistemas de lagunas de estabilización operando y en el Municipio del Centro cuenta con un sistema de lodos activados convencional, en el caso particular de Tenosique se concluyó en el 2006 la construcción del sistema de lagunas anaerobia-facultativa-pulimento que se presenta en este trabajo (SAPAET, 2006).

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Tenosique, se encuentra actualmente en construcción en determinadas zonas y para la zona suroeste y noroeste de la ciudad que aportan las descargas de aguas residuales de nuestro estudio, se encuentran proyectados 3 subcolectores principales que son el B, C y E. Cabe mencionar que el subcolector E, recibe también las descargas del Centro de Salud, el IMSS, Esc. Sec. Fed. José Ma. Morelos y Pavón, el Colegio Tenosique, la Esc. Sec. Lázaro Cárdenas. Se espera terminar todo el sistema de recolección para iniciar la operación en el 2011 (SAPAET, 2006).

En el municipio de Tenosique, SAPAET y el H. Ayuntamiento construyeron la planta de tratamientos de aguas residuales al norte de la ciudad, en el ejido el Mol que se encuentra a 150 m sobre el costado derecho de la carretera Tenosique-Triunfo Balancán a 800 m la extensión de Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT)-Región de los Ríos, así como el nuevo panteón Municipal.

Materiales y método

Para evaluar las fuentes de contaminación dentro del municipio, se procedió a la inspección de los sistemas de alcantarillado y descargas relevantes

de la ciudad (talleres mecánicos, carnicerías, rastros). Del mismo modo se identificó el sitio de aforo del agua residual, la toma de muestras de aguas residuales fue en la descarga del subcolector E, denominando a este punto como la descarga B. El segundo punto de muestreo sobre el subcolector C, se denominó como la descarga A (Figura 1). Los muestreos se realizaron en base a la norma NMX-

AA-003-1980 y con los criterios de la 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 se realizó del 23 de julio al 4 de agosto de 2004, a continuación se presenta el programa de muestreo realizado en una semana, el cual se realizó durante las 2 semanas.

Tabla 1.- Subcolectores B, C y E, y la captación de sus descargas en las siguientes colonias.

Subcolector	Colonias
B	Héroes de Nacozari, Estación FF, Pueblo Unido, C. Salinas.
C	Lázaro Cárdenas, Ingenio, Municipal, Trinchera**, Magisterial**, Fracc. José Ma. Pino Suárez y Fracc. María Luisa**.
E	Chivo Negro, Luis Gómez Z, Trinchera**, Magisterial**, Residencias y San Román**.

Las colonias que tienen el signo (**), indica que parte de sus atarjeas descargan en diferentes subcolectores.

Tabla 2.- Programa de muestreo en una semana

Parámetros	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total de muestras
Temperatura	2	2	2	2	2	2	2	14
pH	2	2	2	2	2	2	2	14
SST	2	2	2	2	2	2	2	14
SSV	2	2	2	2	2	2	2	14
Grasas y aceites	2			2			2	6
DBO	1	1	1	1	1	1	1	7
DQO	1	1	1	1	1	1	1	7
Coliformes Totales	1			1			1	3



Figura 1.- localización de las descargas muestreadas y sitio de aforo

La medición del Gasto, se realizó dentro del arroyo el Chaschin, en base al criterio de Sección Velocidad, para la cual se determinó el área de la sección transversal en dos puntos diferentes sobre el canal obteniéndose un área promedio del canal, posteriormente se midió la velocidad superficial del agua en la sección de control. A continuación se presentan las ecuaciones básicas del método (Sotelo, 2000).

La caracterización fisicoquímica-biológica del agua residual fue realizada por los procedimientos analíticos señalados por la Normatividad Mexicana. Los parámetros como pH y temperatura fueron tomados en campo, en cuanto a los parámetros restantes se realizaron en Laboratorio. Las estimaciones de los gastos actuales y de proyecto de la ciudad, se evaluaron con cálculos de

Velocidad (V) = distancia / tiempo
 Área (A) = tirante medio (ti) x ancho medio (a)
 Gasto = área x velocidad

V = d/t	m/s	Ec 1
A = ti a	m ²	Ec 2
Q = AV	m ³ /s	Ec 3

generación de aguas residuales por lo métodos de CONAGUA (2003), considerando para el gasto máximo instantáneo el coeficiente de seguridad de 1.45, y para los gastos futuros se calculó la población de proyecto utilizando métodos de proyección de población Malthus, Aritmético y el del INEGI con datos del INEGI de 1930 al 2000. Con respecto a la carga orgánica expresada como DBO5 fueron determinadas con un factor de carga equivalente a 56 g/hab/día y una dotación de 300 l/hab/día. El análisis de la precipitación, evaporación y temperatura ambiental, se realizó con el análisis de datos de CONAGUA de la estación meteorológica de la ciudad de Tenosique, la cual contiene datos históricos desde 1958 al 2000 para la temperatura y temperatura y desde 1958 a 1986 datos de evaporación.

Ecuaciones de gastos teóricos:

Aportación:	$A_p = 0.8 \text{ Dot}$	(l/hab/día)	Ec 4
Gasto medio:	$Q_{med} = (A_p * P_p) / 86,400 =$	(l/s)	Ec 5
Gasto mínimo:	$Q_{min} = 0.5 Q_{med}$	(l/s)	Ec 6
Gasto máximo instantáneo	$Q_{máx. inst} = Q_{med} * M$	(l/s)	Ec 7
Coefficiente de Harmon (M)	$M = 1 + (14 * (4 + (Pob * 1000^{-1})^{0.5})^{-1})$		Ec 8
Gasto máximo extraordinario:	$Q_{máx. ext} = Q_{máx. inst} * 1.5$	(l/s)	Ec 9
Volumen diario:	$V_d = Q_{med} * 86.4$	(m ³ /día)	Ec 10
Flujo másico:	$P_0 = P_p * CO$	(Kg/día)	Ec 11
DBO Teórica:	$C_0 = (P_0 / V_d) * 1000$	(mg/l)	Ec 12

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 procedió a desarrollar el diseño de los trenes de tratamientos de aguas residuales propuestos que son la laguna anaerobia facultativa, Laguna Aireada, los Lodos Activados y el Biofiltro conforme a los criterios de CONAGUA (2003).

Los criterios de diseño aplicados a la alternativa seleccionada establecen diseñar las unidades de pretratamiento con el $Q_{máx. ext}$, y las unidades de lagunas con el Q_{med} , para el caso de los sistemas de rejillas se diseñaron con velocidades de 0.6 m/s y en el caso particular de los desarenadores con 0.3 m/s. Las lagunas fueron diseñadas con tiempos de retención de dos días para la anaerobia, siete para

la facultativa y la de pulimento, de manera tal que con 16 días de tiempo de retención hidráulica se asegura la eliminación de patógenos. Es importante mencionar que los reactores se diseñaron con cinética de degradación de primer orden ajustándola con la constante de Arrhenius como lo establecen los manuales de CONAGUA (2003) y Crites *et al.*, (2000).

Resultados

Para la ciudad de Tenosique se estimó el gasto teórico actual de aguas residuales con a una dotación de 300 l/hab/día (datos de operación en planta), para una población de 32,702 habitantes, los gastos estimados fueron: $Q_{med} = 90.83 \text{ l/s}$, $Q_{min} = 45.42 \text{ l/s}$, $Q_{máx. inst} = 221.67 \text{ l/s}$ y $Q_{máx. ext} = 321.42 \text{ l/s}$. Los aforos determinados teóricamente son muy similares a los del área de estudio (tabla 3). Existen pérdidas por filtraciones y evaporación del agua

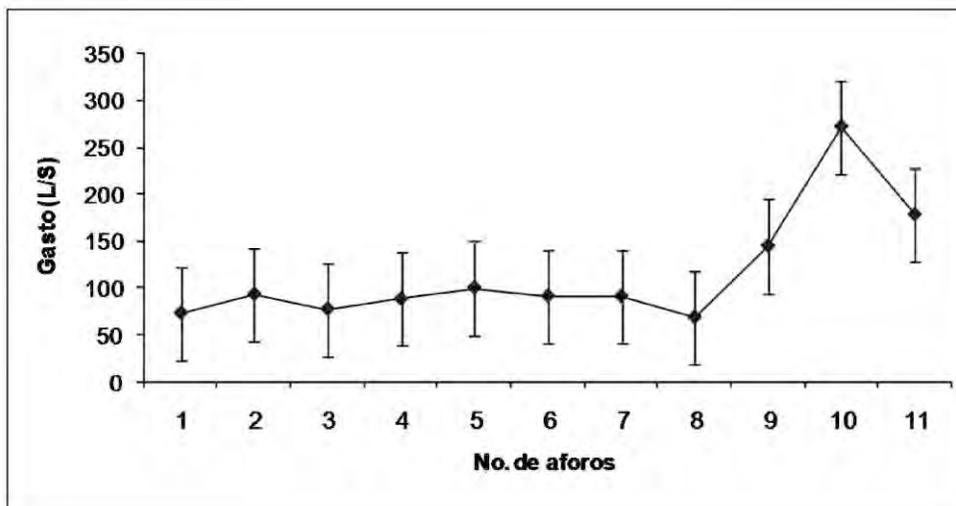
residual en la figura 2 se presenta la variación del caudal en el sitio donde se concentran las descargas de la ciudad.

En la tabla 4 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 se presentaron en un rango 28 a 37°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 (Vega y Ramos, 1996). Los valores de pH oscilan entre 7.3 y 7.78, 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 están en el rango de 185 a 350 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

Tabla 3.- Gasto Actual aforado en el arroyo el Chaschin (en l/s).

Parámetros	Considerando Lluvias	Sin Considerar Lluvias
Promedio	113.89	87.52
Gasto mínimo	22.45	24.24
Gasto Máximo	424.14	221.49

**Figura 2.-** Error estándar que presentan los aforos en la descarga principal de la ciudad.

indirectamente la cantidad de biomasa en el agua residual (Crites & Tchobanoglous, 2000). Los valores de la DQO están en el rango de 308 a 650 mg/l; en cuanto a la DBO se encontraron en valores de 135 a 378 mg/l. En cuanto a nutrientes y metales pesados se encontraron presentes sin rebasar los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad mexicana. El agua del municipio en general puede considerarse por su concentración como un agua de características débil a media establecidas por Metcalf (1996). Analizando los flujos máximos de SST y DBO de las descargas del Chaschin, podemos estimar que el aporte promedio de sólidos al río Usumacinta es 1158.6 ton/año y por carga orgánica de DBO es de 1031 ton/año.

Es importante hacer hincapié que el agua residual monitoreada fue muestreada en puntos estratégicos donde no tienen influencia por descargas atípicas, sin embargo en la descarga A** (Tabla 4), se muestran las características que tiene el agua residual influenciada por la descarga del ingenio azucarero y talleres de la zona industrial ya que son mezcladas con el agua residual convencional que lleva el canal el Chaschin. Estas aguas rebasan los límites de un agua fuerte por la alta concentración (Metcalf, 1996) y por tanto deben

de ser separadas del agua que va a ser tratada en la planta.

La relación DBO/DQO de la figura 3, nos muestra la biodegradabilidad de las aguas residuales (Crites & Tchobanoglous, 2000), y se clasifican como aguas tóxicas 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 y menores a 1.0 son aguas que si pueden degradarse fácilmente con métodos biológicos convencionales y naturales. El análisis de biodegradabilidad de las aguas, muestra que la mayor parte del agua está dentro de los parámetros de aguas difícilmente degradables con tendencias a biodegradable sin llegar a tener valores de agua tóxica. Cuando el valor de la DQO incrementa los compuestos orgánicos sintéticos e inorgánicos hacen al agua residual más difícil de degradar, sin embargo es factible realizar el tratamiento de las aguas mediante procesos biológicos como son naturales anaerobios, los cuales como el caso de las lagunas anaerobias, son utilizadas para desdoblarse altas cargas orgánicas y compuestos tóxicos (Noyola, 2000; Crites *et al.*, 2000).

Tabla 4.- Caracterización Físicoquímica promedio del Agua en las descargas monitoreadas.

Parámetro	Desc. A	Variación	Desc. B	Variación	Desc. A**
Temperatura ambiental (°C)	31.9	±3	31.8	±3	31.9
Temperatura agua (°C)	29.0	±4	28.9	±4	29.0
pH	7.6	±0.5	7.5	±0.5	8.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	232.0	±50	235.0	±70	654.0
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	478.0	±200	475.0	±200	1560.0
Grasas y aceites (mg/l)	166.0	±40	146.0	±40	586.0
Sólidos sedimentables (ml/l)	43.8	±10	26.4	±10	12.6
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	284.0	±30	260.0	±40	764.3
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	173.0	±30	175.0	±15	298.0
Nitrógeno total (mg/l)	25.75	±1.5	24.65	±1.5	35.75
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	12.50	±1.5	13.55	±1.5	22.50
Nitrógeno orgánico (mg/l)	3.5	±5	10.0	±5	3.5
Fósforo (mg/l)	9.0	±5	14.0	±2	8.0
Coliformes totales NMP/100	25000		24000		24000
Coliformes fecales NMP/100	12000		12000		12000
Cadmio Cd (mg/l)	N.D.		N.D.		N.D.
Cobre Cu (mg/l)	4.87	±0.08	5.87	±0.09	4.87
Cromo Hexavalente Cr (+6) (mg/l)	2.25	±0.4	5.45	±0.7	13.25
Níquel Ni (mg/l)	N.D.		N.D.		8.15
Plomo Pb (mg/l)	0.29	±0.05	0.32	±0.05	6.29
Zinc Zn (mg/l)	0.21	±0.07	0.35	±0.05	5.21
Fierro Fe (mg/l)	N.D.		N.D.		7.83

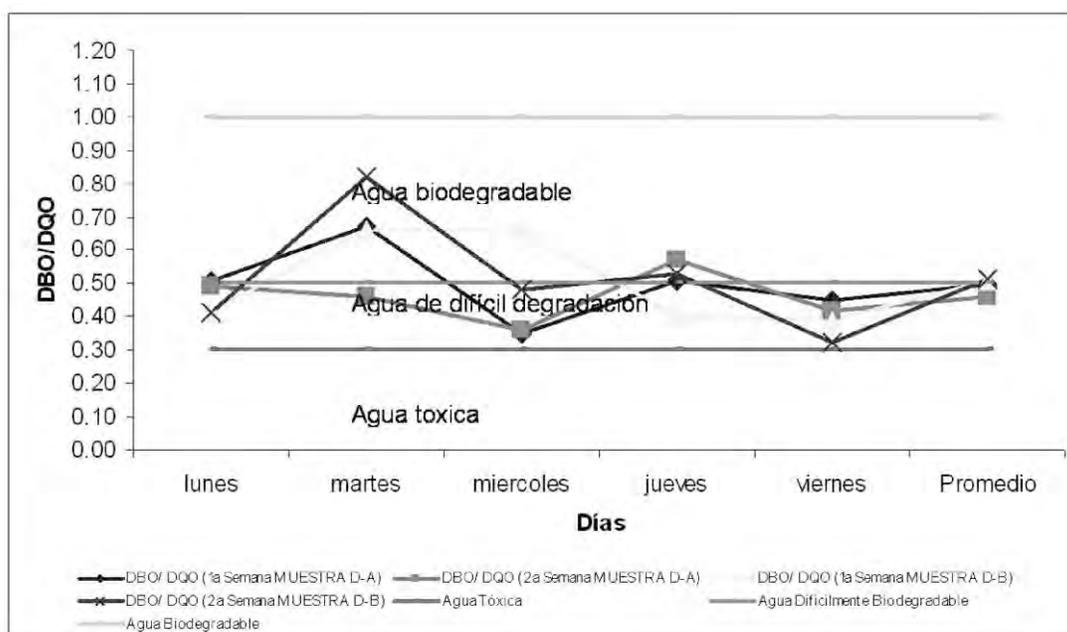


Figura 3.- Biodegradabilidad de las aguas residuales de la ciudad de Tenosique, Tabasco.

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

Tabla 5.- Procesos y operaciones unitarias en los sistemas propuestos

Laguna Aireada-Facultativa	Laguna Anaerobia-Facultativa-Maduración	Lodos activados	Biofiltros
Canal y rejillas	Canal y rejillas	Canal y rejillas	Canal y rejillas
Desarenador	Desarenador	Desarenador	Desarenador
Vertedor	Vertedor	Vertedor	Vertedor
Carcamo de Bombeo	Laguna aireada	Sedimentador primario	Sedimentador primario
Laguna aireada	Laguna facultativa	Lodos activados	Biofiltros
Laguna facultativa	Laguna de maduración	Sed. Secundario	Sed. Secundario
Cloración	Cloración	Cloración	Cloración

El área de construcción de la planta es de 12 hectáreas, por lo que las 4 alternativas están dentro del área contemplada, siendo la que ocupa menos área la alternativa de Lodos activados con un área de 2000 m², la alternativa de Biofiltros necesita un sitio 2500 m², la propuesta de lagunas aereada-facultativa necesita de 5 ha, y las lagunas Anaerobias-Facultativas-Maduración con un área de 7 ha. Además necesitan el área para laboratorios y demás servicios.

La eficiencia de remoción de DBO de las alternativas evaluadas es la siguiente: los lodos activados y biofiltros alcanzan eficiencias hasta de 98%, las lagunas Anaerobia-Facultativa-Maduración pueden alcanzar una eficiencia de 95%, mientras que las Lagunas Aereada-Facultativas logran una eficiencia de 90%, en ese sentido el tratamiento que tiene una buena eficiencia y es más factible en su operación son las Lagunas Anaerobias-Facultativas-Maduración, ya que a pesar de que no tiene ningún tipo de tecnología y suministro de reactivos para ayudar al tratamiento de las aguas residuales presenta buenos resultados en su diseño.

Por razones de construcción, mano de obra y operación, se recomendó la construcción de las Lagunas Anaerobias-Facultativas-Maduración, ya que en construcción solo se requieren los bordos perimetrales de las lagunas; la mano de obra para la operación de esta alternativa es mucho más barata ya que no es especializada pues el personal solo realizara supervisiones y tomara muestras para

corroborar el buen funcionamiento de la planta. En la tabla 6 se presentan las características de las unidades construidas para el tratamiento del agua residual de Tenosique.

El gasto al llegar a la planta será dividido en 2 secciones, pasara por un sistemas de rejillas y desarenadores, llega a dos lagunas anaerobias,

cada modulo presenta las siguientes características de diseño, un volumen de 7,746 m³ para un tiempo de retención de 2 días, la concentración de entrada a esta laguna es de 1,941 kg/día y la de salida de 1523.10

Kg/día, por lo que alcanza una eficiencia mínima es de 21.53 % y la máxima de 50% (Figuras 4 y 5).

Después de pasar por las lagunas anaerobias entran a 2 lagunas facultativas que fueron diseñadas para un volumen de 29,186 m³, con un tiempo de retención de 7 días, la concentración de entrada a este tanque es de 1523.10 Kg/día y la de salida es de 349.40 Kg/día, por lo que se considera una eficiencia mínima de 77.06 % y una eficiencia máxima de 80 %. Como parte final de proceso, el agua proveniente de las lagunas facultativas se conducen a una laguna de maduración, recibiendo un volumen de 58,455 m³ y con un tiempo de retención de 7 días, la concentración de entrada se pretende de 349.40 Kg/día y se estima una concentración de salida de 84.17 Kg/día por lo que se estima una eficiencia mínima de 75.91% y una eficiencia máxima del 80%.

El agua descargará al río Usumacinta considerado de protección de la vida acuática (C), por lo que la eficiencia exigida es de 74.24-87.12% y el proceso presenta una eficiencia de diseño de 95.66-98.16%, por lo que esta alternativa cumple con los parámetros requeridos para poder descargar el agua tratada al río usumacinta. En la figura 6 se presenta el sembrado final del sistema de tratamiento construido.

Conclusiones

El volumen actual de descarga de aguas residuales en la ciudad de Tenosique, Tabasco presenta como gasto mínimo de 3,924 m³/día, 7,847 m³/día como

Tabla 6.- Datos de las lagunas Anaerobias-Facultativas-maduración

Datos de proyecto	
Población de proyecto	34,668 Hab.
Q med.	96.30 l/s.
Q min.	48.15 l/s.
Q max. inst.	233.17 l/s.
Q max. ext.	338.10 l/s.
Carga orgánica unitaria	56 gr/hab/día
Carga orgánica total	1,941 kg/día
Concentración	233 mg/l
Tanque 1 (Anaerobio) 2 Módulos	
T.R.	2 Días
Volumen del tanque	7,746 m ³
Flujo másico de entrada	1,941 kg/día
Flujo másico de salida	1523.10 kg/día
Eficiencia mínima	21.53%
Eficiencia máxima	50%
Tirante	4.5 m
Tanque 2 (Facultativo) 2 Módulos	
T.R.	7 días
Volumen del tanque	29,186 m ³
Flujo másico de entrada	1523.10 kg/día
Flujo másico de salida	349.40 kg/día
Eficiencia mínima	77.06%
Eficiencia máxima	80%
Tirante	2.2 m
Tanque 3 (Maduración)	
T.R.	7 Días
Volumen del tanque	58,455 m ³
Flujo másico de entrada	349.40 kg/día
Flujo másico n de salida	84.17 kg/día
Eficiencia mínima	75.91 %
Eficiencia máxima	80%
Tirante	1.8 m
Datos del sistema	
Descarga a cuerpo receptor	Ríos, protección de la vida acuática (C),
Nombre del río	Usumacinta
Eficiencia requerida	74.24 - 87.12 %
Eficiencia total del proceso	95.66 - 98.16 %

gasto medio y un máximo extraordinario de 26,957 m³/día. Los gastos de proyecto para la planta (20 años) son: gasto mínimo 8,320 m³/día, 4,160 m³/día gasto medio y 29,211 m³/día como gasto máximo extraordinario.

La temperatura del agua esta dentro de normativa ya que estas temperaturas (26 a 31°C) no rebasan el valor 40°C, las grasas y aceites rebasan los valores de la norma con 3299% (el limite permitido es de 150 mg/l y el promedio en nuestra descarga es de 186.18), los SST rebasan la norma

583.33%, el limite permitido es de 150 mg/l y el promedio en nuestra descarga es de 267.5), la DBO rebasa la norma un 630%, el limite permitido es de 150 mg/l y el promedio en nuestra descarga es de 256.5.

La biodegradabilidad esta en el rango de aguas de difícil degradación, pues la relación de DBO/DQO se encuentra entre 0.3 y 0.5, esto se presume por contener materia de difícil degradación como son las grasas y aceites de las carnicerías, rastros y talleres.

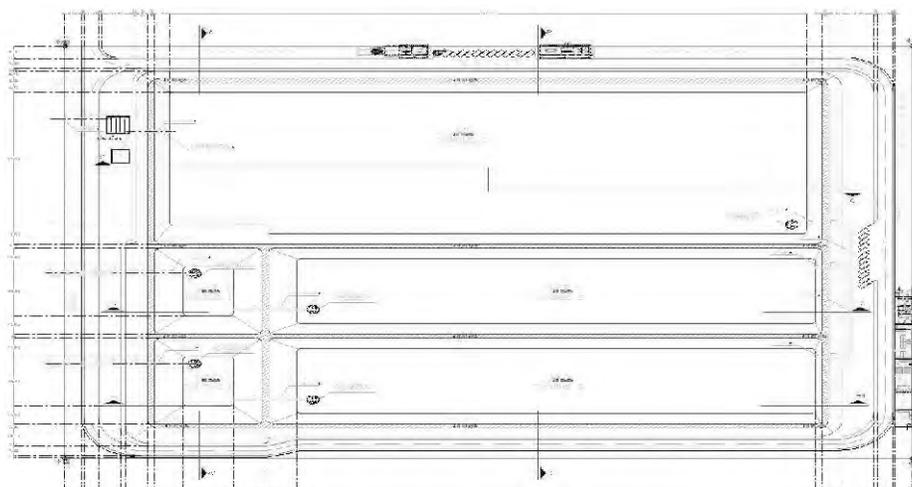


Figura 4.- Vista en planta del sistema de lagunas de estabilización.

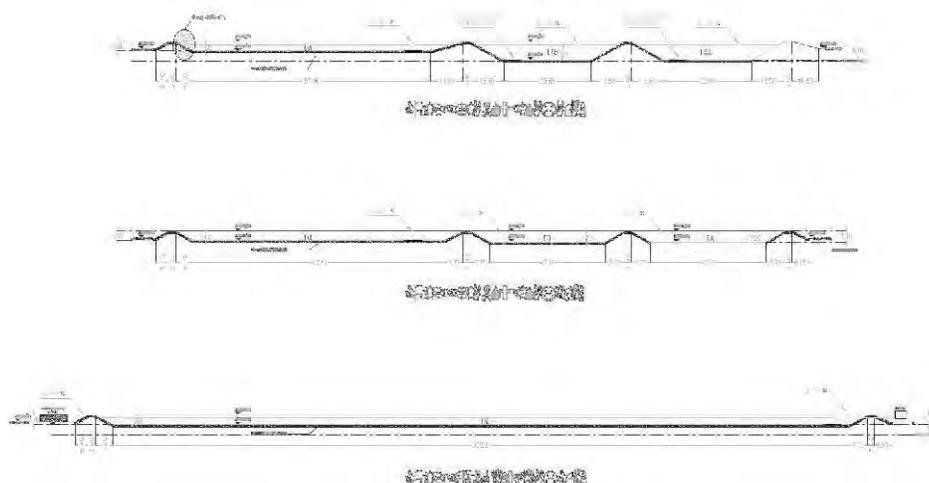


Figura 5.- Cortes de los sistemas lagunares

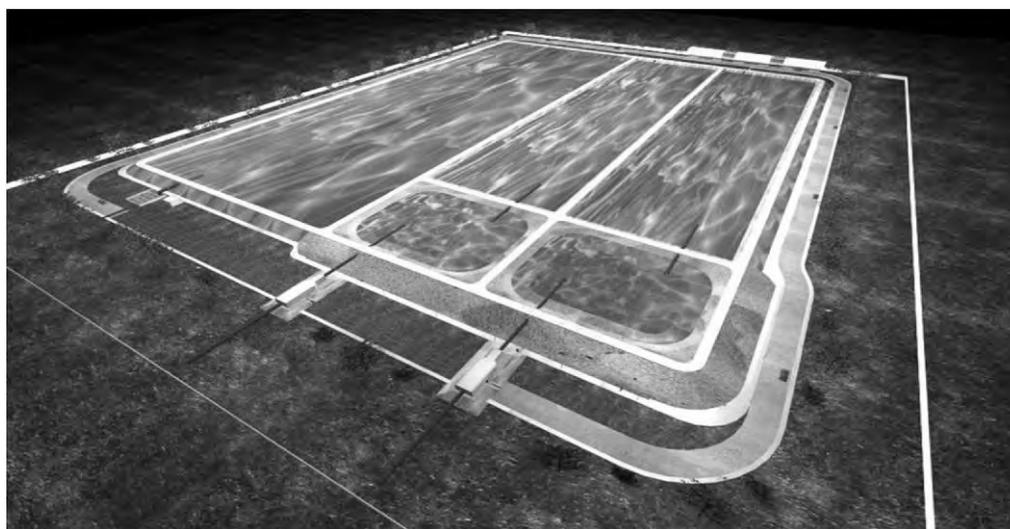


Figura 6.- Sembrado final de la laguna de estabilización de Tenosique, Tabasco.

El tratamiento por medio lagunas Anaerobias-Facultativas-Maduración es el mas viable de implementar en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Tenosique, Tabasco, por presentar menores costos de operación y construcción además de cumplir con la eficiencia requerida del sistema, alcanzado eficiencias de diseño 95.66-98.16% de remoción de DBO. En la evaluación de alternativas se observa que los métodos convencionales ocupan áreas de 2500 m² y los métodos naturales ocupan un área mayor 70000 m².

La planta de tratamiento Anaerobia-facultativa-maduración ocupara una extensión de 12 ha, siendo 7 ha en le proceso de las aguas y 5 en instalaciones y servicios requeridos.

Literatura citada

Comisión Nacional del Agua. CNA / CGS. 1995. Situación del Subcolector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Gerencia de Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Méx. D.F.

Comisión Nacional del Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1996. Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Gerencia de Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Méx. D.F.

Comisión Nacional del Agua. Datos de la estación meteorológica de Tenosique, Tabasco. 1958 a 2000.

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).

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Cuadernos Estadísticos Municipales de Tenosique 1995, 1998 y 2000.

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

Metcalf y Eddy. 1996. Wasterwater Ingeneering. Treatment, Disposal and Reuse. MC Graw Hill.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996,

que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Normas Técnicas Mexicanas de Aguas Residuales.

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).

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.

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

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

Sistema de Alcantarillado y Agua Potable del Estado de Tabasco, SAPAET. 2004. Proyecto Ejecutivo de la Ingeniería Básica para la Construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Tenosique, Tenosique, Tabasco. Contrato No. SAPAET-POA-007/2004.

Vega G. E., Ramos H. J. G. 1996. Alternativas de tratamiento de aguas residuales, segunda edición, facultad de ingeniería UNAM, IMTA.

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

Biodegradación de residuos de frutas y vegetales provenientes de supermercado usando la técnica de aireación forzada ANA IO DÍAZ OSORIO.....	5
FOXP2: Genética y Lingüística ARMANDO ROMO LÓPEZ, JULIA MARÍA LESHER GORDILLO Y MANUEL ENRIQUE JIMÉNEZ GARCÍA	9
Sistemas naturales aplicados en el tratamiento de las aguas residuales de Tenosique, Tabasco GASPAR LÓPEZ OCAÑA, SANTIAGO PALMA ÁVALOS Y ROBERTO CARLOS DÍAZ PAZ.....	15
Trenes de tratamiento para agua de la industria petrolera LOURDES LAVARIEGA PULIDO.....	25
Especies de importancia comercial del Orden Carcharhiniforme (Tiburones) en el estado de Tabasco ARTURO GARRIDO MORA, FRANCISCO JAVIER FÉLIX TORRES, YESSENIA SÁNCHEZ ALCUDIA, ALBERTO DE JESÚS SÁNCHEZ, JOSE LUIS RAMOS PALMA, ANDRÉS A. GRANADOS BERBER, ROSA AMANDA FLORIDO ARAUJO, VIOLETA RUIZ CARRERA Y LEONARDO ACOSTA	29
Herpetofauna en un cacaotal en la R/a Huimango 1ª sección, Cunduacán Tabasco ALINNE AUDREI MARTÍNEZ LÓPEZ, CARMEN DEL ROSARIO CANDIA ALOR, CARMEN FLORES LÁZARO, NINFA KARINA BOLIVAR ARRIAGA, JUSTINO ALDANA RODRÍGUEZ Y RAMÓN HERNÁNDEZ DE LA CRUZ.....	35
Características reproductoras de la tortuga dulceacuícola hicoetea (<i>Trachemys venusta</i>) KENIA LAPARRA TORRES, ARLETTE AMALIA HERNÁNDEZ FRANYUTTI, MARÍA DEL CARMEN URIBE ARANZÁBAL Y ULISES HERNÁNDEZ VIDAL.....	43
Diagnóstico preliminar del sistema de lagunas receptoras de aguas tratadas ubicadas en la Universidad Tecnológica de Tabasco WILLIAM MONTEL REYES, JOSÉ ALFREDO IRINEO MIJANGOS Y ROBERTO CARLOS DÍAZ PAZ	51
Influencia de la geomorfología en la dispersión de hidrocarburos en caso de fuga en ductos del bordo derecho del Campo Samaria ADOLFO DAVID LIMA ORDÓÑEZ Y RANDY HOWARD ADAMS SCHROEDER.....	55
Una ventana al estudio del genoma del <i>Chrysobalanus icaco</i> L. MANUEL ENRIQUE JIMÉNEZ GARCÍA, EMIR SANTIAGO MÉNDEZ BADAL, JULIA MARÍA LESHER GORDILLO, RENE FERNANDO MOLINA MARTÍNEZ Y RAYMUNDO HERNÁNDEZ MARTINEZ.....	61
Colecta de Larvas; Actividad Fundamental para la Producción Ostrícola de <i>Crassostrea virginica</i> en la Región del Golfo de Mexico. ARTURO GARRIDO MORA, LEONARDO ACOSTA DÍAZ, YESENIA SÁNCHEZ ALCUDIA, ALBERTO DE JESÚS SÁNCHEZ MTZ., FRANCISCO JAVIER FÉLIX TORRES.....	67
NOTAS	
Captación y aprovechamiento del agua de lluvia MARÍA FERNANDA CORTES MELCHOR, CARLOS ENRIQUE HERNANDEZ CACHO, CHRISTIAN IVÁN GUERRERO VIDAL Y RICARDO AXEL VEGA ZARATE.....	73
Energía solar, una energía alternativa ante el cambio climático DONAJÍ ESMERALDA FLORES TREJO, MAGDALENA FUNG GONZÁLEZ, ALEJANDRO BARRAGÁN LÓPEZ	77
Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales (CICART) ROSA MARTHA PADRÓN LÓPEZ	81



ISSN - 1665 - 0514