

EVALUACION DE UN SISTEMA TRI-LAGUNAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES EN UNA PLANTA DE MOSCAS ESTERILES

por Hugo A. Guillén Trujillo¹, Oscar Pérez Ovilla² y Alonso Figueroa Gallegos³

RESUMEN

La eficiencia de un sistema lagunar para el tratamiento de desechos orgánicos de una planta de moscas estériles es analizado y discutido. La introducción de una laguna anaerobia al sistema inicial bi-lagunar dio como resultado una disminución notable en los parámetros de DBO₅, DQO y nitrógeno, principalmente, a niveles que la normatividad mexicana exige. Se observó que el mejoramiento de la calidad del agua en el efluente del sistema fue consecuencia de la actualización del tren de tratamiento. Niveles de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) del orden del 97% cumplieron con la normatividad. Resultados obtenidos permitieron establecer una relación entre DBO₅ y la demanda química de oxígeno (DQO), aproximada al 80% (DBO₅ = 0.8DQO). El constante mantenimiento y mejoramiento en el sistema de tratamiento permitió valores del efluente de 4.9 ppm en DBO₅. El nitrógeno total (NT) se encontró bajo norma (<40 mg/l). Sin embargo, en fósforo (P-PO₄) se observaron comportamientos erráticos, observándose una estabilización del parámetro dentro de la norma en el último año de estudio. A pesar de que los porcentajes de reducción de DBO (parámetro significativo) fueron superiores al 90%; se carecieron de datos de entrada de otros parámetros, por lo que no fue posible determinar la eficiencia del sistema en una perspectiva integral.

Importantes inversiones económicas fueron necesarias para la adquisición de nuevas tecnologías y de programas efectivos de mantenimiento preventivo y correctivo en el sistema de tratamiento de aguas residuales en la Planta Productora de Moscas Estériles (CMAEGBG) que repercutieron en la calidad del agua del efluente del sistema. Este reto continúa para esta empresa para mantenerse dentro de la normatividad vigente y la conservación del medio ambiente. Futuros trabajos son necesarios para un monitoreo tanto de las unidades como del sistema en general incluyendo variables microbiológicas para evaluar la eficiencia de las unidades de desinfección.

INTRODUCCION

RESEÑA DE LA PLANTA DE MOSCAS ESTERILES

En 1933, investigadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) descubrieron que el origen de las pérdidas en la ganadería no eran ocasionadas por el díptero común *Cochliomyia macellaria* (Fabricius) sino por una especie diferente denominada *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel) o gusano barrenador del ganado (GBG). Este descubrimiento condujo a investigaciones sin precedente en la crianza y esterilización masiva de moscas del gusano barrenador, lo cual fue el prototipo para todos los programas de control biológico en los que se utilizan insectos estériles para hacer que

¹ Profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. hguillen@montebello.unach.mx

² Inspector de Seguridad Biológica de la CMAEGBG y estudiante del Posgrado en Hidráulica Ambiental de la Facultad de Ingeniería. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

³ Profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

una especie se erradique sin el uso de insecticidas. Se observó que la mosca podía ser esterilizada usando radiaciones, ya que la hembra se aparea una sola vez en su vida y al hacerlo con un macho estéril los huevecillos ovipositados por ella son infértiles, haciendo posible la erradicación.

En 1960 quedó eliminado el parásito del sudeste de los Estados Unidos, iniciando posteriormente los trabajos en el sudoeste de dicho país a lo largo de la frontera con México. El 28 de agosto de 1972 se creó la Comisión México Americana para la Erradicación del Gusano Barrenador del Ganado (CMAEGBG), producto del Acuerdo firmado por los gobiernos de los Estados Unidos de América y de México, teniendo como propósito original erradicar el parásito de la región de México que está al norte y oeste del punto más estrecho del Istmo de Tehuantepec, y establecer una barrera permanente de moscas estériles en dicha región.

La planta, ubicada en el km. 2 de la Carretera a la Angostura en el Municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México, es la tercera de su género y la más grande del mundo, tiene como antecedente a las de Sebring, Florida y Mision, Texas, las que debido a los avances del programa se encuentran fuera de operación. Este complejo industrial cuenta con las siguientes áreas para su adecuado funcionamiento: Producción, Irradiación, Control de calidad, Seguridad Biológica, Desarrollo de Métodos, Ingeniería y Mantenimiento, Impacto Ambiental y Administrativo.

Gracias a las actividades del programa de erradicación del GBG a lo largo de 27 años, se ha logrado erradicar al parásito en: Curazao, Puerto Rico e Islas Vírgenes; Estados Unidos de América, México, Libia en África del Norte, Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras y Nicaragua, encontrándose actualmente enormes avances en Costa Rica y Panamá. Debido a los avances logrados en la erradicación de la plaga, la producción actual en la Planta es de 143 millones de insectos estériles por semana, de los cuales 3 millones son dispersados en los alrededores de la planta como medida de seguridad biológica ante un posible escape de mosca fértil; el resto es enviado a Costa Rica, Panamá y desde agosto de 1999, a Jamaica. (CMAEGBG, 1999).

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo del sistema de tratamiento de aguas residuales es el tratamiento de los desechos orgánicos del material biológico producidos en el proceso de producción del insecto para cumplir con la normatividad mexicana en materia de aguas residuales para descargar en un cuerpo receptor tipo B (uso público urbano) según la norma NOM-001-ECOL-1996, contribuyendo con esto a preservar la calidad ambiental de la región.

El tren de tratamiento de aguas residuales de esta planta incluye tratamiento térmico, centrifugados, lagunas, y desinfección (Figura 1).

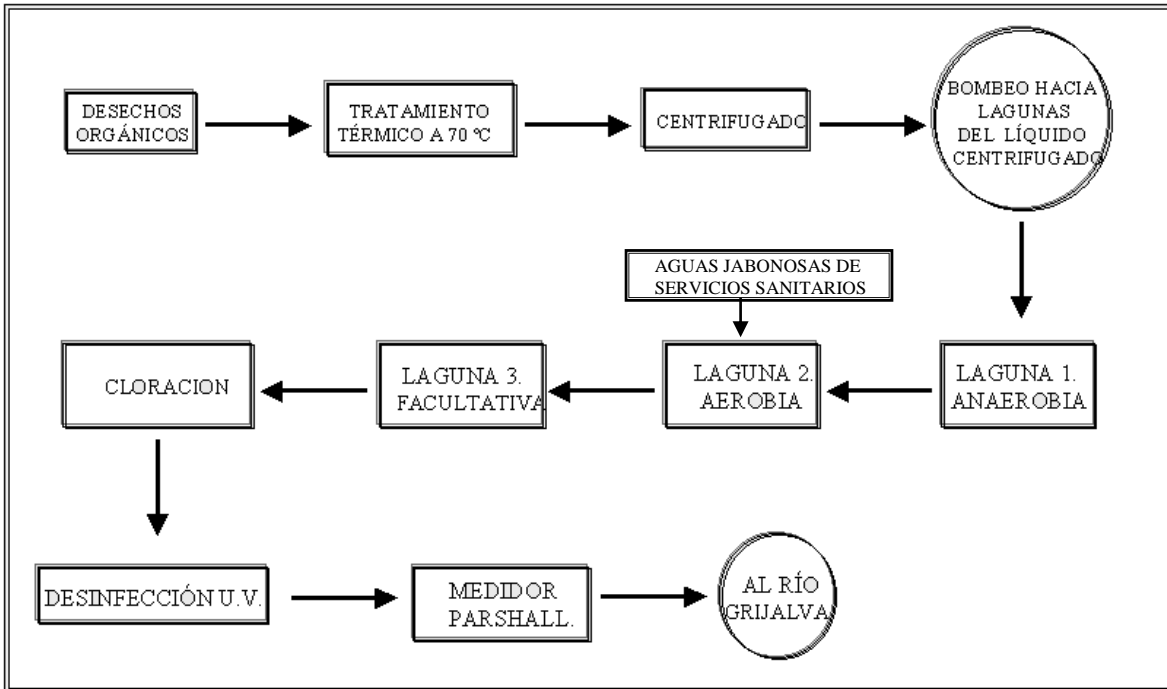


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de tratamiento de residuos biológicos.

DESECHOS ORGÁNICOS

Los desechos orgánicos generados en el proceso de producción son básicamente la dieta que el insecto consume cuando se encuentra en estado larvario (Tabla 1). Al momento de desechar la dieta, ésta contiene todavía larvas de gusano barrenador del ganado que no alcanzaron la madurez suficiente para la siguiente etapa biológica, por lo que es necesario eliminarlas antes de que dichos desechos sean tratados por el sistema tri-lagunar de la planta. Para este fin, se emplea calor (70°C) para asegurar su eliminación y preservar la seguridad biológica.

Tabla 1. Composición media de la dieta del insecto en estado larvario.

COMPUESTO	% PESO
Sangre	6
Huevo	4
Leche	4
Gel	1.9 – 2.2
Formol	0.1
Agua	≈ 84

Fuente: CMAEGBG, 1999.

Existen dos tipos de desechos que son tratados mediante el uso de calor antes de incorporarse a las lagunas: los desechos sólidos (gel de dieta) y los líquidos (agua de lavado de charolas de dieta). Los desechos sólidos son centrifugados para separar la parte líquida y la sólida. El líquido centrifugado es incorporado a un tanque junto con el agua de lavado de charolas y los desechos de los servicios sanitarios de la planta.

SISTEMA TRI-LAGUNAR

La mayor parte de eliminación de la carga orgánica es eliminada mediante un sistema de tres lagunas (Figura 2), las cuales son descritas a continuación.

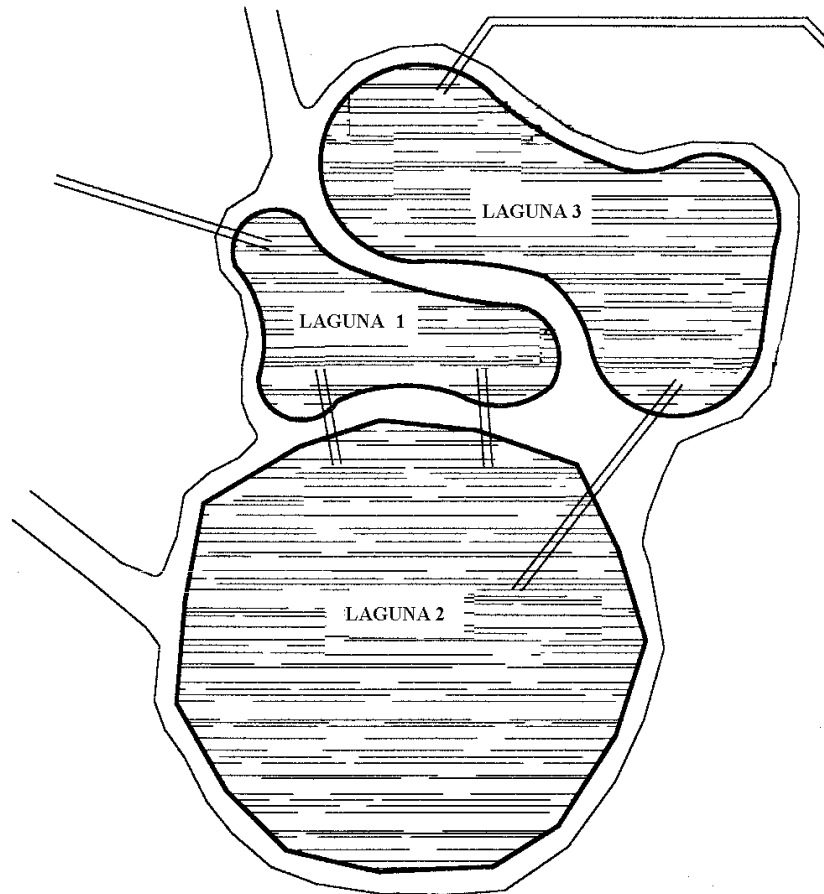


Figura 2. Croquis del sistema de tratamiento tri-lagunar de la planta.

Laguna 1 (anaerobia)

En esta laguna se realiza la mayor reducción de carga orgánica del influente. Para conservar condiciones anaerobias se tiene una profundidad de 4.5 m y un tiempo de retención de 8 días. Generalmente este tipo de laguna es anaerobia en toda su profundidad excepto en una estrecha franja cercana a la superficie.

La estabilización se consigue por medio de una combinación de precipitación y de conversión anaerobia de los residuos orgánicos en CO_2 , CH_4 , otros productos gaseosos finales, ácidos orgánicos y tejido celular. Pueden esperarse rendimientos de eliminación de la DBO_5 superiores al 70% (Metcalf & Eddy, 1996).

Laguna 2 (Aerobia)

La laguna 2 es la más grande de todas las lagunas y su función principal es la conversión de la materia orgánica. Esta laguna es de tipo aerobia y para ello emplea 17 aireadores tipo “Tornado” distribuidos de tal forma que la turbulencia creada por los sistemas de aireación se utiliza para mantener en suspensión el contenido del depósito. El tiempo de retención de esta laguna es de 32 días con una profundidad de 2.5 m.

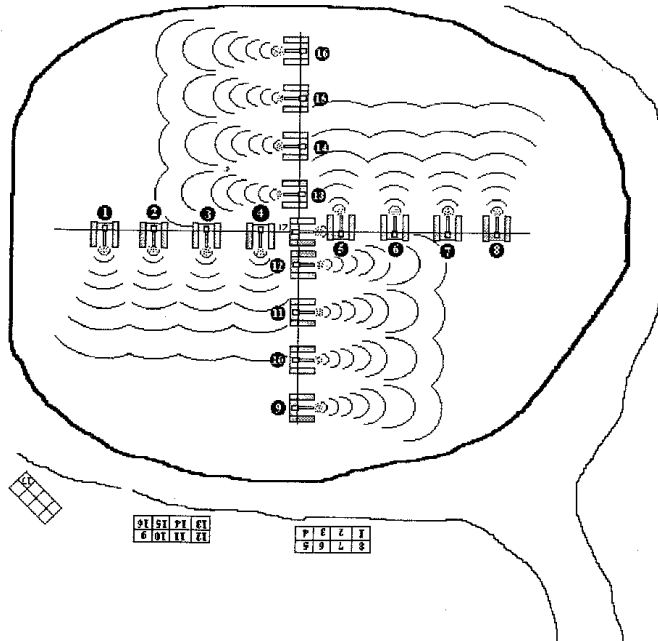


Figura 3. Croquis de la distribución de los aireadores tipo “Tornado” en la Laguna 2.

Laguna 3 (maduración)

Esta última laguna del sistema es del tipo de maduración (estabilización) y tiene una profundidad de 2 m con un tiempo de residencia de 11 días. Estas lagunas se conocen con el nombre de estanques de estabilización facultativos (aerobios-anaerobios). La estabilización de las aguas residuales se lleva a cabo mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias. Se ha observado en esta laguna la proliferación de “lentejas de agua” (*Lemna spp*) que son removidas periódicamente para evitar condiciones indeseadas en el efluente.

CLORACION

Una vez reducida la carga orgánica, es necesario eliminar los microorganismos que se encuentran en el agua residual. La cloración es el primer paso de este proceso de desinfección en esta planta. Se realiza mediante gas cloro en un tanque de contacto que proporciona el tiempo necesario para que el cloro se homogenice con el agua. La dosificación actual es de 0.2 kg/hr y se realiza mediante un equipo automatizado que regula la cantidad de cloro adicionado en proporción al flujo del influente.

DESINFECCION CON RAYOS ULTRAVIOLETA (U.V.)

Esta constituye la última etapa del sistema de tratamiento. El efluente de la cámara de contacto de cloro se divide en dos flujos iguales, los cuales se someten a la acción U.V. por medio de lámparas suspendidas fuera del líquido dentro de los túneles de radiación. La radiación ultravioleta constituye un agente desinfectante físico. La radiación con una longitud de onda de alrededor de 254 nm penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por los materiales celulares, incluidos el ADN y el ARN. Esta radiación puede impedir la reproducción o producir directamente la muerte de la célula. La ventaja de

utilizar este tipo de desinfección es que, a dosis adecuadas, es un eficaz bactericida y virucida, además de no contribuir a la formación de compuestos tóxicos. (Metcalf & Eddy, 1996).

METODOS Y PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. En la Tabla 2 se enumeran los parámetros que la legislación indica para este tipo de aguas residuales así como los métodos de laboratorio oficiales a utilizar para su análisis. En la planta se realizaron únicamente algunas determinaciones físicas (pH, temperatura, sólidos suspendidos totales (SST)) y la demanda química de oxígeno (DQO) como control interno. Para otros parámetros se contrataron laboratorios especializados acreditados para los respectivos reportes para la Comisión Nacional del Agua (CNA).

TABLA 2. Parámetros y métodos oficiales para el análisis de las aguas residuales del sistema de tratamiento.

PARAMETRO (Contaminantes Básicos)	METODO OFICIAL	PARAMETRO (Met. Pesados y Cianuros)	METODO OFICIAL
DBO	NMX-AA-28	ARSENICO	NMX-AA-51
DQO	NMX-AA-30	CADMIO	NMX-AA-51
PH	NMX-AA-08	COBRE	NMX-AA-51
NT	NMX-AA-26	CROMO	NMX-AA-51
PT	NMX-AA-29	MERCURIO	NMX-AA-51
Coliformes	NMX-AA-42	NIQUEL	NMX-AA-51
Grasas y aceites	NMX-AA-05	PLOMO	NMX-AA-51
Temperatura	NMX-AA-07	ZINC	NMX-AA-51
SST	NMX-AA-34	CIANUROS	NMX-AA-58

Fuente: CNA, 1999.

Los parámetros que la Comisión Nacional del Agua exige sean reportados son: coliformes fecales, potencial de hidrógeno, contaminantes básicos (grasas y aceites, SST, DBO, nitrógeno total y fósforo total); así como, metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc) y cianuros. Los límites máximos permisibles son los estipulados por la Ley Federal de Derechos (NOM-001-ECOL-1996). Los límites máximos permisibles de los parámetros analizados se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3. Límites máximos permisibles para Cuerpos Receptores Tipo “B”.

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Coliformes fecales	1,000 (NMP/100 ml)	Cadmio	0.1 ppm
pH	De 6 a 10	Cobre	4 ppm
Grasas y Aceites	15 mg/lt	Cromo	0.5 ppm
SST	75 mg/lt	Mercurio	0.005 ppm
DBO ₅	75 ppm	Níquel	2 ppm
Nitrógeno Total	40 mg/lt	Plomo	0.2 ppm
Fósforo Total	20 mg/lt	Zinc	10 ppm
Arsénico	20 ppm	Cianuro	0.1 ppm

Fuente: CNA, 1999.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos examinados en este artículo corresponden al período de diciembre de 1995 a 1997, información que es listada en las Tablas 4, 5 y 6 que fue proporcionada por la empresa conforme a sus registros. Los análisis fueron realizados por un laboratorio contratado por la Comisión y corresponden a la salida de las lagunas de oxidación o del medidor de flujo tipo "Parshall" ubicado a la salida del tratamiento ultravioleta (ver apéndice para detalles). Los únicos valores tomados de los controles internos de la planta fueron los correspondientes a la DQO, medidos en la entrada del sistema de tratamiento .

TABLA 4 Resultados de los análisis básicos de las aguas residuales de la Laguna 2.

Parametros Fisico-Quimicos Y Microbiologico	Laguna 2 Diciembre
DBO (mg/lt)	197
DQO (mg/lt)	211
SST (mg/lt)	541
Grasas y Aceites (mg/lt)	19
Fosfatos Tot. (mg/lt)	6
Nitrógeno Tot (mg/lt)	6
Temperatura (°C)	28
PH	7
Colif. Tot (UFC/100 ml)	28,875

Fuente: CMAEGBG, 1999.

Nota: Datos para Diciembre, 1995

TABLA 5. Resultados de los análisis básicos de las aguas residuales (1996).

Parametros Fisico-Quimicos y Microbiologico	Laguna "C" Febrero	Laguna "C" Marzo	Laguna "C" Abril	Laguna "C" Mayo	Laguna "C" Junio	Laguna "C" Julio	Laguna "C" Agosto	Laguna "C" Septiembre	Parshall Octubre	Parshall Noviembre	Parshall Diciembre
DBO (mg/lt)	242	259	229	204	268	225	232	263	122	96	96
DQO (mg/lt)	278	304	262	236	325	284	300	303	139	112	112
SST (mg/lt)	476	546	523	470	511	489	453	418	409	395	395
G y A ⁻ (mg/lt)	18	19	18	18	22	20	19	19	18	22	22
Fosfatos Tot. (mg/lt)	6	7	6	6	6	5	4	5	13	12	12
Nitrógeno Tot (mg/lt)	6	7	7	6	7	6	7	6	5	2	2
Temperatura (°C)	27	27	29	29	28	28	28	28	27	27	27
pH	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Colif. Tot (UFC/100 ml)	27,300	49,500	51,762	36,000	32,875	32,250	24,750	26,000	18,500	25,250	25,250

Fuente: CMAEGBG, 1999.

TABLA 6. Resultados de los análisis básicos de las aguas residuales (1997).

Parametros Fisico-Quimicos y Microbiologico	Descarga Enero	Descarga Febrero	Descarga Marzo	Descarga Abril	Descarga Mayo	Descarga Junio	Descarga Agosto	Descarga Septiembre	Descarga Octubre	Descarga Noviembre	Descarga Diciembre
DBO (mg/lt)	75	69	72	80	72	72	74	64	62	71	89
DQO (mg/lt)	87	93	87	92	82	90	94	92	82	92	113
SST (mg/lt)	255	220	174	142	111	92	82	73	68	66	116
G y A ⁻ (mg/lt)	31	20	29	26	24	22	11	12	16	20	21
Fosfatos Tot. (mg/lt)	20	26	26	24	23	22	24	23	22	18	14
Nitrógeno Tot (mg/lt)	2	1	3	3	2	3	2	2	1	1	3
Temperatura (°C)	25	25	26	25	26	26	27	26	26	25	25
pH	8	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7
Colif. Tot (UFC/100 ml)	60,000	97,500	173,570	170,000	167,000	225,000	196,250	233,750	>16,000**	>16,000**	>16,000**

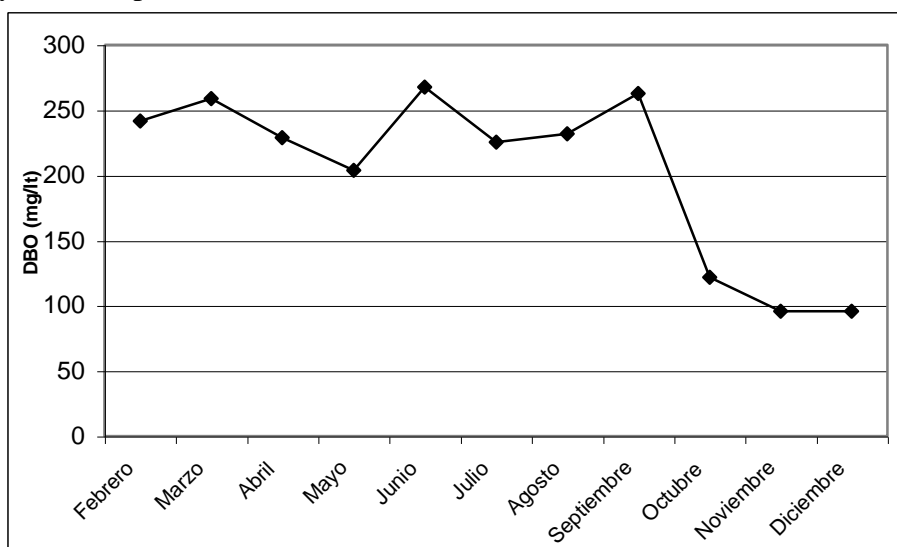
Fuente: CMAEGBG, 1999.

Hasta diciembre de 1995 el sistema de tratamiento tenía únicamente dos lagunas (aerobia y facultativa). A partir de 1996 se instaló una tercer laguna anaerobia (laguna 1 en Figura 2) ubicada antes de las dos ya mencionadas. Al mismo tiempo se renovaron los aireadores por 17 unidades tipo Tornado, en lugar de los tipo Huracán.

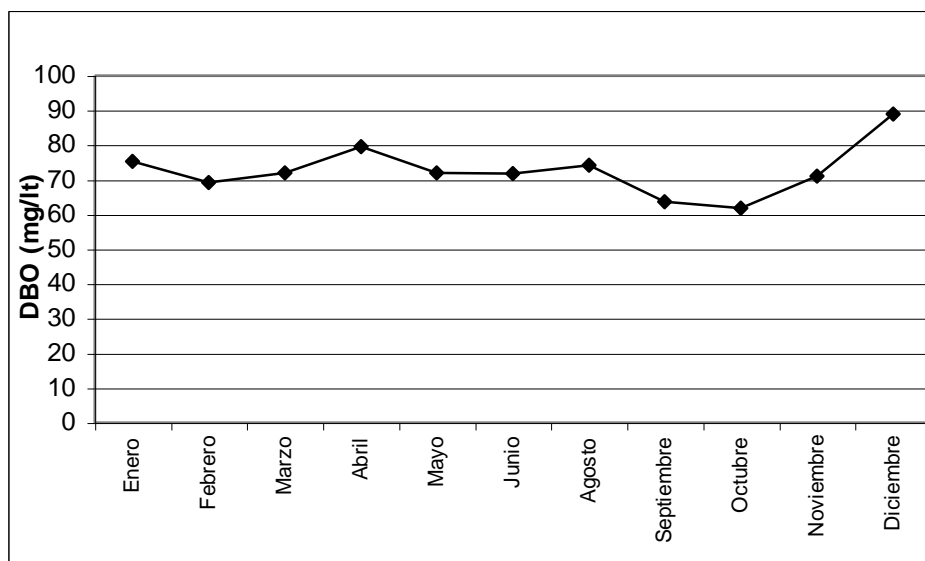
Desafortunadamente no se cuenta con información de la eficiencia de cada unidad de tratamiento; sin embargo, para determinar la eficiencia del sistema completo, se hicieron mediciones de los siguientes parámetros: DBO₅, NKT, P-PO₄ y metales pesados en la entrada (antes de las lagunas) y en la salida (después del sistema U.V.). Algunos parámetros son discutidos y evaluados en las siguientes secciones.

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO₅)

Uno de los parámetros de referencia más significativos cuando se trata de aguas residuales es la DBO₅. En las gráficas 1 y 2 se muestran los resultados obtenidos para DBO₅ para 1996 y 1997, respectivamente. El valor de la DBO₅ en diciembre de 1995 fue de 197 mg/l.

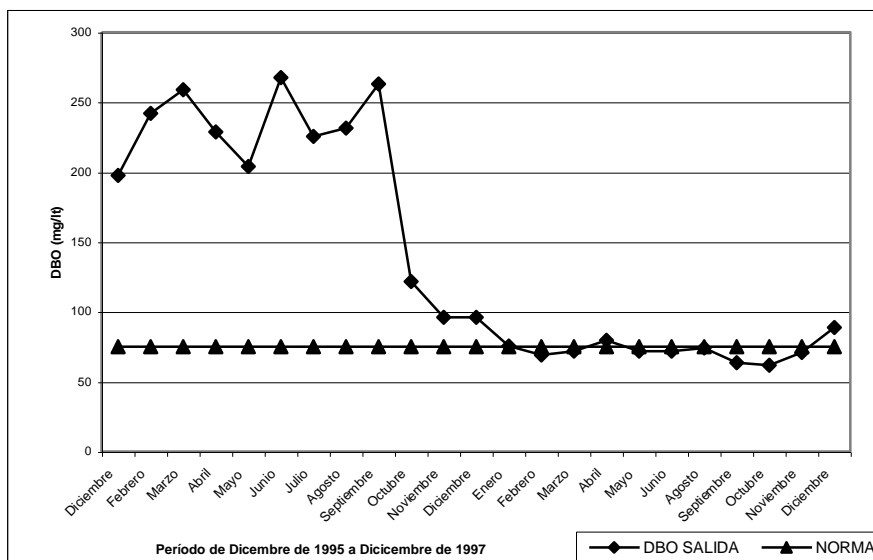


Gráfica 1. DBO₅ a la salida del sistema en 1996.

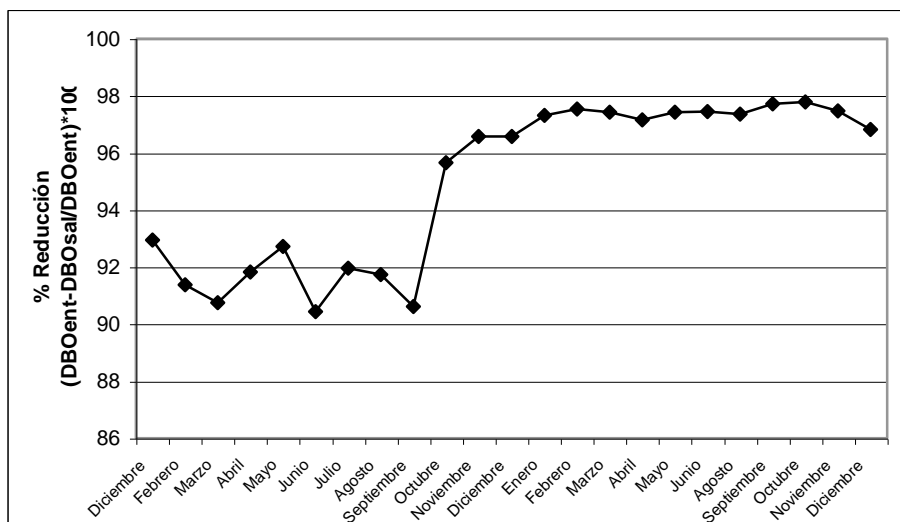


Gráfica 2. DBO₅ a la salida del sistema en 1997.

En la gráfica 3 se ilustra la relación existente entre la normatividad mexicana y los resultados de los análisis en el período comprendido de diciembre de 1995 a diciembre de 1997. Se carecen de datos en enero de 1996 y Julio de 1997. Este parámetro se encuentra fuera de norma en 1996; sin embargo, en 1997 este problema fue corregido casi en su totalidad por la laguna. Los niveles de reducción de la DBO (gráfica 4) son del orden del 97% y cumplen con la normatividad. Es importante notar también que la actual ley en materia de descarga de aguas residuales entró en vigor a partir de 1996, año de análisis de este estudio. El constante mantenimiento y mejoramiento en el sistema de tratamiento ha permitido valores hasta de 5 ppm en DBO₅ para 1999.



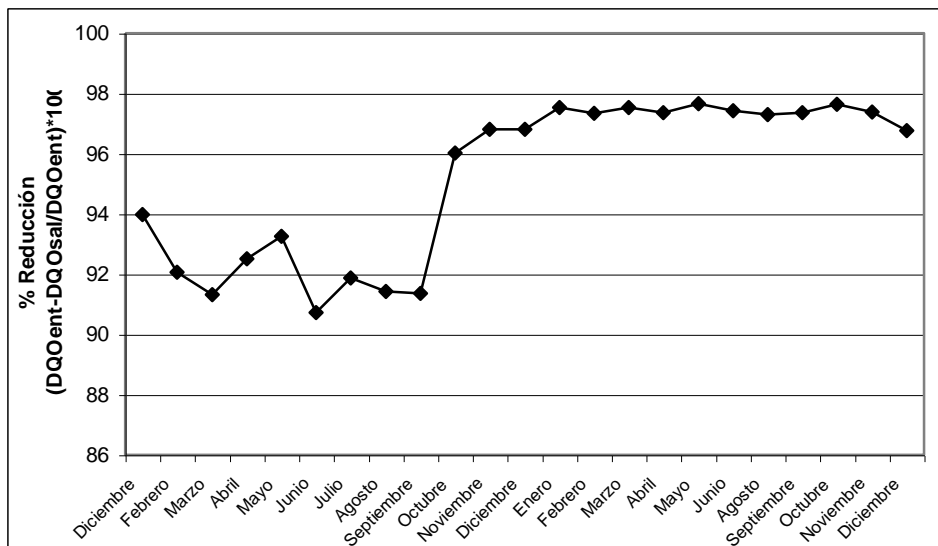
Gráfica 3. DBO₅ a la salida del sistema vs DBO₅ Norma.



Gráfica 4. Eficiencia de Remoción de DBO₅.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

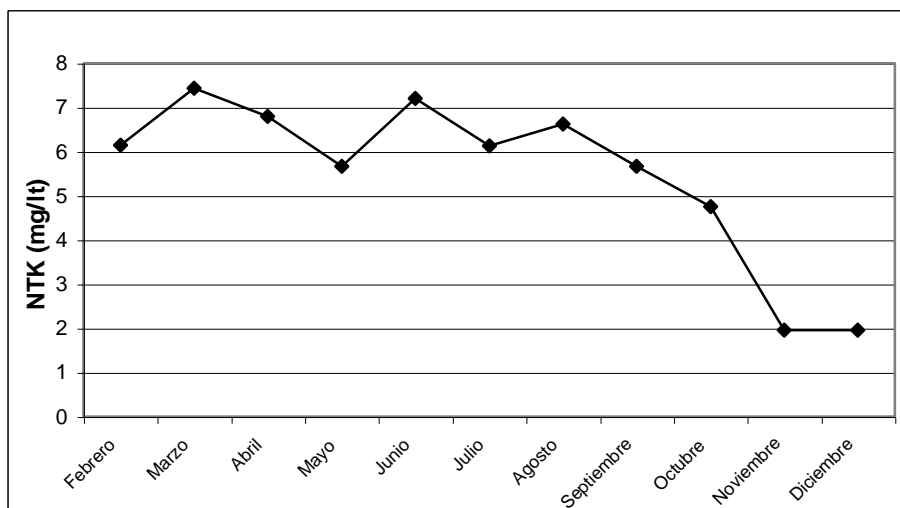
La DQO, antes de entrar a la laguna 1, tiene fluctuaciones entre valores de 3,500 a 8,000 mg/l (la DBO entre 2800 y 6400 mg/l aproximadamente). Como se mencionó con anterioridad, los valores de DQO fueron calculados en la planta. Se observa para los valores de entrada de DBO y DQO una relación $DBO = 0.8 DQO$. Esta relación también es observada en los dos años de estudio a la salida del sistema con una $DBO = 0.82DQO$ ($\bar{x} = 0.82$, $n = 22$). Con esta relación se puede establecer la DBO como un parámetro surrogado de la DQO para este caso específico o viceversa (Guillén-Trujillo, 2000). En la gráfica 5 se observa la reducción de la DQO en los años de estudio hasta alcanzar valores aproximados del 97 %.



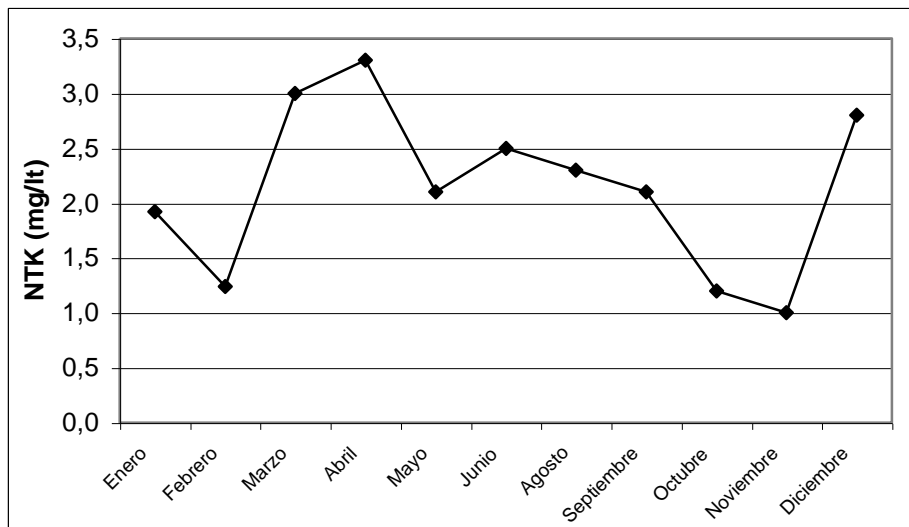
Gráfica 5. Eficiencia de Remoción de DQO.

NITROGENO

El nitrógeno fue reportado como Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK). En las gráficas 6 y 7 se presentan las mediciones de nitrógeno correspondientes a 1996 y 1997, respectivamente. El NTK en diciembre de 1995 fue de 6.08 mg/l.

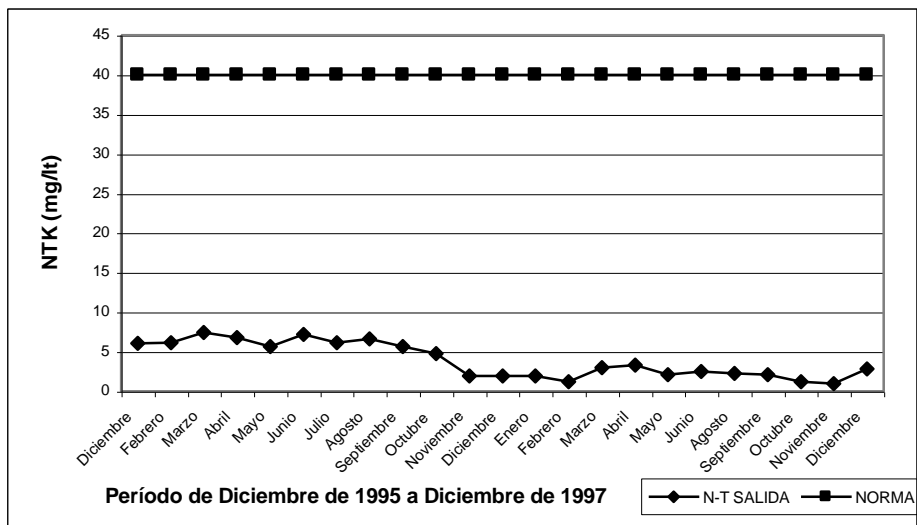


Gráfica 6. NTK a la salida del sistema en 1996.



Gráfica 7. NTK a la salida del sistema en 1997.

Se observaron incrementos en NTK en 1999 hasta 28.08 mg/l. Desafortunadamente no se cuenta con mediciones de nitrógeno total (NT) ni se tiene información validada de las condiciones y abundancia de otras formas de nitrógeno (i.e., NO_3) en la tercera laguna. Sin embargo, se hace una comparación del NTK a la salida del sistema en el período de diciembre de 1995 a diciembre de 1997 con respecto al parámetro de nitrógeno total según la norma (gráfica 8). Asumiendo que las condiciones prevalecientes en la tercera laguna son anaerobias, podría compararse el NKT directamente con el NT.

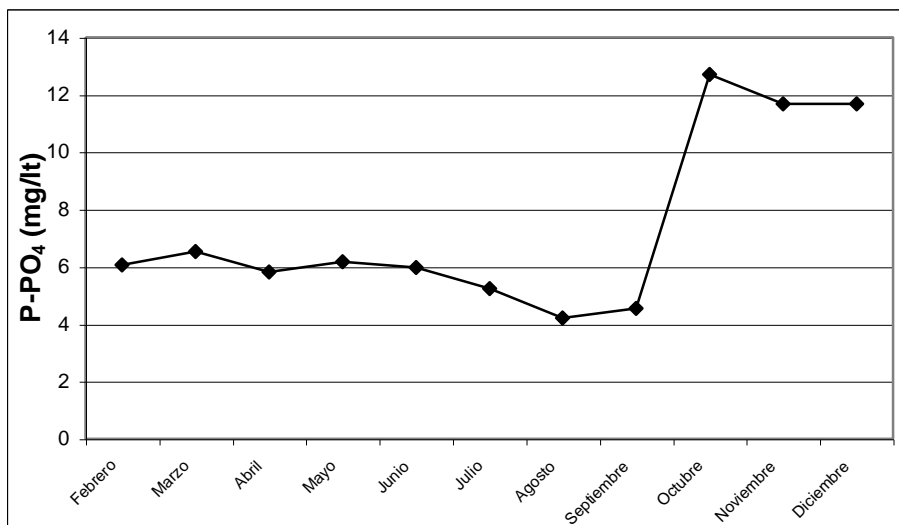


Gráfica 8. NTK a la salida del sistema vs NT norma.

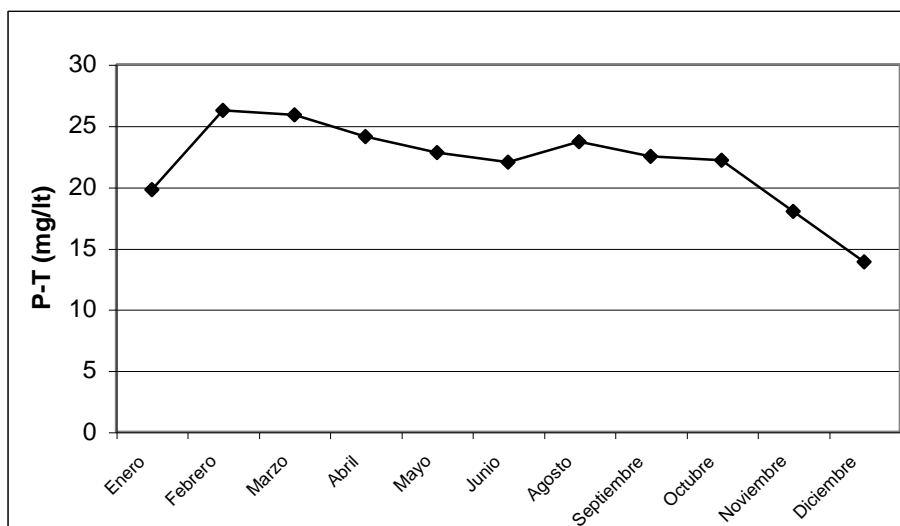
Nota: No hay datos en Enero de 1996 y Julio de 1997.

FOSFORO

El contenido de fósforo en las aguas residuales fue analizado como Fosfatos Totales (P-PO₄). El valor de Diciembre de 1995 fue de 6.21 mg/l, y los valores correspondientes a 1996 y 1997 son ilustrados en las gráficas 9 y 10, respectivamente.

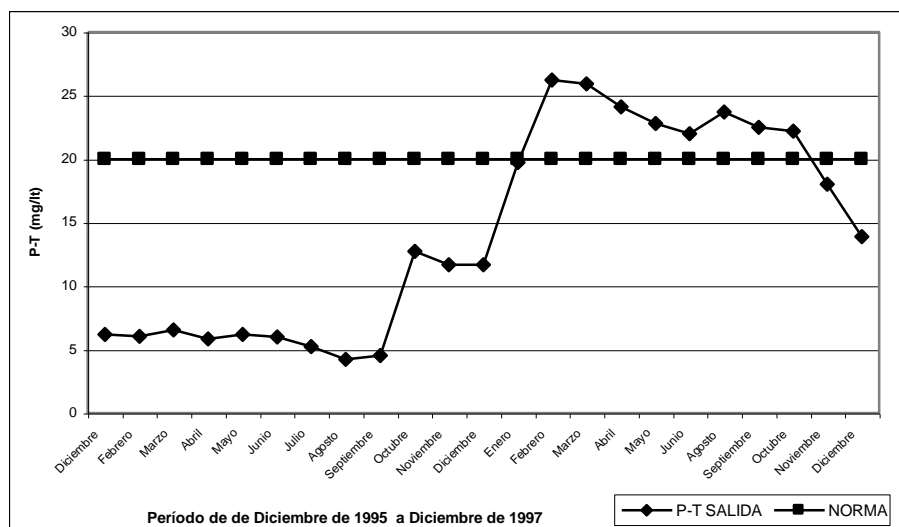


Gráfica 9. P-PO₄ a la salida del sistema en 1996.



Gráfica 10. P-PO₄ a la salida del sistema en 1997.

La relación existente entre la normatividad mexicana y los resultados de los análisis en el período comprendido de diciembre de 1995 a diciembre de 1997 para el fósforo son ilustrados en la gráfica 11. El fósforo mantuvo un comportamiento menor al especificado en la norma (20 mg/l) en 1996. Sin embargo, en 1997 esta situación no fue la misma ya que dicho valor fue rebasado en la mayor parte del año; controlándose nuevamente a finales de año. No existe información disponible para explicar estas variaciones.



Gráfica 11. P-PO₄ a la salida del sistema vs P Norma.

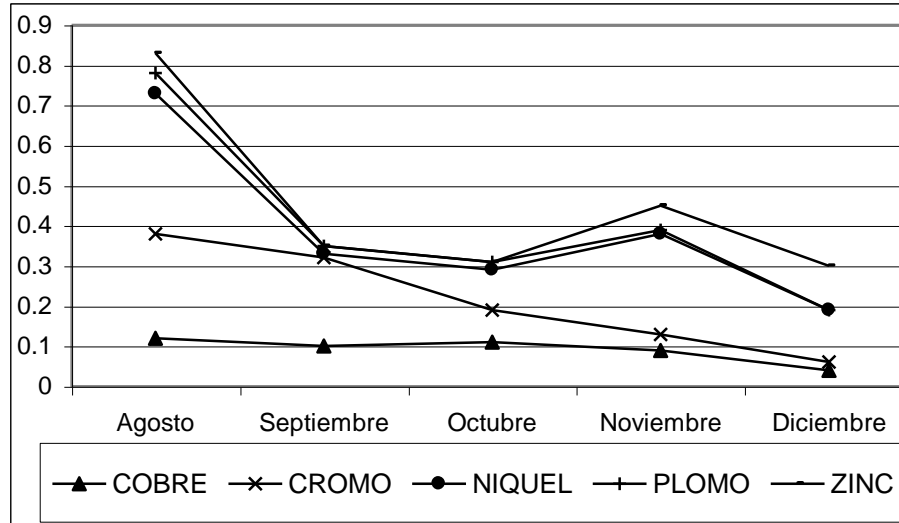
METALES PESADOS

En la Tabla 7, se presentan los resultados para los siguientes metales pesados: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros. Con base en la información se observa que en este periodo se cumplió con la normatividad (Tabla 3). En la grafica 12 se presentan algunos de ellos.

TABLA 7. Resultados de metales pesados (1997)

Parámetro (mg/l)	MEDIDOR PARSHALL				
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ARSÉNICO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CADMIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
COBRE	0.12	0.10	0.11	0.09	0.04
CROMO	0.26	0.22	0.08	0.04	0.02
MERCURIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NÍQUEL	0.35	0.01	0.10	0.25	0.13
PLOMO	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00
ZINC	0.05	0.02	0.00	0.06	0.11
CIANUROS	0.006	0.004	0.006	0.005	0.003

Fuente: CMAEGBG, 1999



Gráfica 12. Resultados de Metales Pesados (1997).

CONCLUSIONES

Con la información recopilada en el presente estudio, la Comisión México Americana estuvo dentro de norma con respecto a DBO₅, DQO y Nitrógeno. Los porcentajes de reducción de DBO (parámetro significativo) fueron superiores al 90%, considerando el nivel mínimo de carga orgánica. Sin embargo, se carecieron de datos de entrada de otros parámetros, por lo que no fue posible determinar la eficiencia del sistema en una perspectiva integral.

En general, la introducción de una laguna anaerobia al inicio del sistema lagunar ha dado como resultado una disminución en la descarga relacionado al contenido de materia orgánica (DBO₅ y DQO) y macronutrientes (Nitrógeno principalmente) a niveles que la normatividad mexicana exige. El mejoramiento de la calidad del agua en el efluente del sistema es consecuencia de la actualización del tren de tratamiento.

Importantes inversiones económicas fueron necesarias para la adquisición de nuevas tecnologías (aireadores y unidades de desinfección) y de programas efectivos de mantenimiento preventivo y correctivo en el sistema de tratamiento de aguas residuales en la Planta Productora de Moscas Estériles (CMAEGBG) que han repercutido en la calidad del agua del efluente del sistema. Este reto continúa para esta empresa para mantenerse dentro de la normatividad vigente y la conservación del medio ambiente. Sin embargo, futuros monitoreos que incluyan mediciones del sistema en puntos intermedios del mismo, permitirán conocer la eficiencia de las unidades de tratamiento. También se requiere de información que relacione variables microbiológicas que indiquen la eficiencia de las unidades de desinfección.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento para el siguiente personal de la CMAEGBG que apoyó para la elaboración de este artículo: Ing. Dora Luz Gutiérrez Cigarroa, Biol. Luis Miguel Rojas Avalos, Ing. Manuel de Jesús Gálvez Reyes, Ing. Henri Charpentier, M.I. Daisy Escobar Castillejos, Ing. Patricia Orozco Zebadua. e Ing. Jorge Díaz Pascacio.

BIBLIOGRAFÍA

Comisión México-Americana para la Erradicación de Gusano Barrenador del Ganado (CMAEGBG). 1999. REPORTE MENSUAL DE ACTIVIDADES, Septiembre de 1999, Chiapa de Corzo, Chiapas, México.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 1999. NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

Guillén-Trujillo, H.A. 2000. APUNTES DE LA ASIGNATURA TRATAMIENTO DE AGUAS I DE LA MAESTRIA EN INGENIERIA HIDRAULICA AMBIENTAL, UNACH, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Metcalf & Eddy Inc. 1996. INGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES: TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACIÓN, Tercera edición. Tomo I, Mc Graw-Hill, México.