

EVALUACION DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE OXIDACION
DE LA ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA, ZAMORANO

POR

Juan Sebastián Borja Rendón

TESIS

PRESENTADA A LA

ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

MICROISIS:	9478
FECHA:	30-10-95
ENCARGADO:	Del Cid

EL ZAMORANO, HONDURAS

AGOSTO, 1995

**Evaluación del sistema de lagunas de oxidación de la
Escuela Agrícola Panamericana, Zamorana**

Por:

JUAN SEBASTIAN BORJA RENDON

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana los derechos para reproducir y distribuir copias de este trabajo para los usos que considere necesarios. Para otras personas y otros fines se reservan los derechos del autor.



Juan Sebastián Borja Rendón

iv

DEDICATORIA

A Denisse Alejandra, mi hija, con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, en especial a mis padres Gorki y Piedad por su confianza y apoyo incondicional en todos los duros momentos de esta etapa que finaliza.

A mis asesores Michael, Silvia y Janeth por su amistad, ayuda y orientación para llevar a feliz término este proyecto.

A todo el personal del Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica por el apoyo que brindan a sus estudiantes.

A la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, GTZ, por haber depositado su confianza en mí, financiando los estudios en esta etapa de mi carrera.

A mis amigos y compañeros por los momentos inolvidables y por enseñarme donde se encuentra el verdadero éxito del Zamorano.

AJ Zamorano por mis amigos.

A Carla por su infinito amor.

INDICE GENERAL

	Pag.
TITULO.....	i
APROBACION.....	ii
DERECHOS DE AUTOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
INDICE GENERAL.....	vi
INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
 I. INTRODUCCION	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 El sistema de lagunas de estabilización en la E.A.P.....	2
1.3 Objetivos.....	7
 II. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Aguas Negras.....	8
2.1.1 Concepto de aguas negras.....	8
2.1.2 Clasificación de las aguas negras.....	8
2.1.2.1 Clasificación de las aguas negras según su origen.....	8
2.1.2.2 Clasificación de las aguas negras según su fuerza.....	10
2.1.3 Características indeseables de las aguas residuales.....	12
2.2 Tratamiento de las aguas negra.....	15
2.2.1 Descripción general.....	15
2.2.2 Métodos convencionales para el tratamiento de aguas negras.....	17
2.2.2.1 Tratamiento preliminar.....	17

2.2.2.2	Tratamiento primario.....	17
2.2.2.3	Tratamiento secundario.....	18
2.2.2.4	Tratamiento terciario.....	18
2.2.2.5	Desinfección.....	19
2.2.3	Tratamientos biológicos.....	19
2.2.3.1	Lagunas de oxidación o lagunas de estabilización.....	19
2.2.3.2	Tipos de lagunas de oxidación.....	22
2.3	Aguas negras, riego y salud humana.....	26

III. MATERIALES Y METODOS

3.1	Muestreo.....	30
3.1.1	Principios generales sobre la toma de muestras en aguas negras.....	30
3.1.2	Fecha de muestreo.....	31
3.1.3	Sitios de muestreo.....	31
3.1.4	Tipos de muestras.....	32
3.1.4.1	Muestras compuestas.....	33
3.1.4.2	Muestras instantáneas.....	34
3.1.5	Hora de muestreo.....	35
3.1.6	Frecuencia de muestreo.....	35
3.1.7	Medición de caudal.....	36
3.1.8	Identificación de muestras.....	37
3.1.9	Conservación de muestras.....	38
3.1.10	Implementos de muestreo.....	38
3.1.11	Personal.....	39
3.1.12	Análisis de laboratorio.....	39
3.1.13	Protección de la salud.....	39
3.2	Tiempo de retención.....	40
3.2.1	Laguna anaeróbica.....	40
3.2.2	Laguna facultativa.....	41
3.3	Reducción de bacterias.....	43
3.4	Observaciones de campo.....	45

IV. RESULTADOS

4.1	Mediciones de caudal.....	46
4.2	Análisis de laboratorio.....	48
4.3	Tiempo de retención y eficiencia de remoción de DBO y CF.....	50
4.4	Observaciones de campo.....	58
4.4.1	Laguna 1.....	58
4.4.2	Laguna 2.....	60
4.4.3	Laguna 3.....	61
4.4.4	Laguna 4.....	62
4.4.5	Laguna 5.....	62

V. DISCUSION	
5.1	Mediciones de caudal.....64
5.2	Eficiencia de remoción de DBO y CF.....65
VI.	CONCLUSIONES.....70
VII.	RECOMENDACIONES.....73
VIII.	BIBLIOGRAFIA.....77
IX.	ANEXOS.....80

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1.	Clasificación de las aguas negras según su fuerza.....11
Cuadro 2.	Demanda Bioquímica de Oxígeno de algunos efluentes comunes..... 12
Cuadro 3.	Características físicas representativas del sistema de lagunas de oxidación de la Escuela Agrícola Panamericana.....44
Cuadro 4.	Medidas de caudal del sistema de lagunas de estabilización de la E.A.P.....46
Cuadro 5.	Resultados de los análisis de agua del sistema de lagunas de estabilización de la Escuela Agrícola Panamericana.....48
Cuadro 6.	Cuadro comparativo de tiempo de retención, eficiencia de remoción, concentración de DBO y CF para la laguna 1 del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.....52
Cuadro 7.	Cuadro comparativo de tiempo de retención, eficiencia de remoción, concentración de DBO y CF para la laguna 2 del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.....53
Cuadro 8.	Cuadro comparativo de tiempo de retención, eficiencia de remoción, concentración de DBO y CF para la laguna 3 del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.....54
Cuadro 9.	Cuadro comparativo de tiempo de retención, eficiencia de remoción, concentración de DBO y CF para la laguna 4 y 5 del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.....55

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.	Esquema del sistema de lagunas de oxidación.....3
Figura 2.	Simbiosis entre algas y bacterias.....24
Figura 3.	Vías de remoción de DBO en una laguna de estabilización.....25
Figura 4.	Variaciones de caudal en los sitios de muestreo de las tres primeras lagunas del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P. el 17 de julio de 1995.....47
Figura 5.	Reducción de coliformes fecales a lo largo del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.....49
Figura 6.	Reducción de DBO a lo largo del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.....50
Figura 7.	Comparación de la remoción de DBO bajo las tres condiciones de evaluación de la E.A.P.....56
Figura 8.	Comparación de la remoción de coliformes fecales bajo las tres condiciones de evaluación de la E.A.P.....57

INDICE DE ANEXOS

	Pag
Anexo 1. Tabla de muestreo	81
Anexo 2. Guía de calidad microbológica de aguas negras para uso agrícola.....	82
Anexo 3. Posibles niveles de patógenos en aguas servidas.....	83
Anexo 4. Supervivencia de patógenos excretados (20-30 °C).....	84
Anexo 5. Reporte de análisis de laboratorios MQ, Tegucigalpa.....	85

RESUMEN

En América Latina se producen diariamente 40 millones de metros cúbicos de aguas negras por año. De este total, apenas entre 7 y 15% son tratadas antes de su disposición en los cuerpos de agua receptores, esta disposición de aguas negras crudas se traduce en la contaminación de ríos, lagos y agua subterránea que son utilizadas posteriormente para el riego de productos agrícolas o para el consumo humano. En 1981, la ONU estableció el Decenio Internacional del Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento (DLAPPS); en 1995, pasados ya cinco años de la finalización de dicho decenio, los países de América Latina siguen disponiendo del 90 al 95% de sus aguas negras sin tratamiento alguno en los cuerpos receptores tradicionales. La Escuela Agrícola Panamericana, entidad educativa para jóvenes latinoamericanos, cuenta con un sistema de lagunas para la purificación de las aguas negras producidas en su campus central. El sistema fue construido entre 1984 y 1985 y hasta la iniciación de este trabajo de tesis no había sido objeto de ningún tipo de estudio que evalúe la eficiencia de su tratamiento. El objetivo general es evaluar la eficiencia actual del sistema utilizando los dos parámetros biológicos más comunes para este tipo de trabajo: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la concentración de coliformes fecales en las aguas que transitan por este sistema. Entre los objetivos específicos podemos mencionar el evaluar la eficiencia de cada una de las lagunas, describir el estado físico actual de las mismas y generar información útil para apoyar proyectos que tiendan a proteger el medio ambiente. Para obtener la información necesaria para realizar la evaluación se realizó un muestreo; durante el cual se tomaron dos tipos de muestras: instantáneas y compuestas; se tomaron medidas de caudal al mismo tiempo que se tomaban las muestras y se hicieron observaciones de campo sobre características que pudieran dar indicios de la situación actual del sistema. Los análisis de aguas se realizaron en un laboratorio privado en la ciudad de Tegucigalpa. En base a los resultados obtenidos en las medidas de caudal, los análisis de laboratorio y las observaciones de campo se pudo concluir que la eficiencia actual del sistema de lagunas, 68% para remoción de DBO y 99.8 % para remoción de coliformes fecales, no se ajusta a los estándares esperados para sistemas de diseño clásico (90 % para DBO y 99.9995 para coliformes fecales. Por esto y en base a la calidad de las aguas negras que entran al sistema se recomendó la construcción de una laguna anaeróbica, dimensionada según la teoría y en base de la fuerza de las aguas negras que entran al sistema ($DBO=282 \text{ mg/l}$), así mismo se recomendó la modificación de todo el sistema buscando mejorar su eficiencia.

I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

En América Latina, donde la producción de aguas negras supera los 40 millones de m³ por año, solamente entre 7 y 15% de éstas son tratadas antes de entrar a los cuerpos receptores (Reiff, 1992; GATE, 1995). En consecuencia los ríos, lagos y acuíferos subterráneos que se utilizan como fuentes de agua, potable o para riego, reciben descargas de aguas servidas con muy poco tratamiento o sin él.

Las aguas contaminadas de estas fuentes son utilizadas especialmente durante la época seca, cuando la contaminación está más concentrada, amenazando gravemente la salud humana, sobre todo en los grandes asentamientos poblacionales que actualmente se desarrollan alrededor del mundo.

Actualmente, cuando ya ha concluido el Decenio Internacional del Abastecimiento de Agua Potable y el Saneamiento (DIAAPS) establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 1981, los logros conseguidos para mejorar el sector saneamiento de los países en vías de desarrollo no han sido suficientes para asegurar una disminución de los riesgos a la salud, que conlleva la descarga de aguas negras no tratadas en cuerpos de agua de uso posterior (SANAA, 1992). Aún después de los esfuerzos desplegados en esta década, estos países siguen descargando entre 90 y 95% de sus aguas residuales sin tratamiento alguno en los cuerpos receptores tradicionales (GATE, 1995).

El abastecimiento de agua para consumo humano e inclusive para el riego agrícola, depende de fuentes de agua aceptables en cuanto a cantidad y calidad. A pesar de ello, en América Latina las actividades de investigación orientadas a evaluar la calidad de éstas han

sido incipientes. Esta falta de interés se ha debido a la abundancia de fuentes de agua de buena calidad. Actualmente la situación está cambiando, el crecimiento de la población y por lo tanto de las actividades agrícolas, industriales y domésticas, han hecho de estas fuentes un recurso cada vez más escaso y pobre en términos de calidad y cantidad.

Una alternativa factible para mejorar la calidad de los efluentes de aguas residuales y por consiguiente aumentar la disponibilidad de agua para riego, es el uso de sistemas de tratamiento. De los sistemas conocidos (filtros, lodos activados, floculación, desinfección, etc), el de lagunas de oxidación ha demostrado ser el más económico y efectivo para las condiciones tropicales de los países en vías de desarrollo (Cairncross y Feachem, 1983); su efectividad ha sido probada en muchos lugares del mundo y bajo diferentes condiciones, pero la información referente a la eficiencia y eficacia del funcionamiento de los sistemas existentes bajo las condiciones del trópico es escasa. Por lo tanto es necesario realizar investigaciones con el propósito de generar esta información.

1.2 El sistema de lagunas de estabilización de la E.A.P.

La Escuela Agrícola Panamericana (E.A.P.) se encuentra ubicada a 29 km de Tegucigalpa en el valle de El Zamorano, con una elevación de 800 msnm, una precipitación y temperatura promedio anual de 1.050 mm y 23°C, respectivamente (García, 1993).

Gran parte de los terrenos de la Escuela se encuentran a orillas del río Yeguaré, que es utilizado por la misma para fines de riego y disposición de desechos líquidos. Actualmente la E.A.P. cuenta con un sistema de cinco lagunas en serie (Figura 1) para recoger y tratar las aguas residuales producidas en su campus central. Este sistema fue

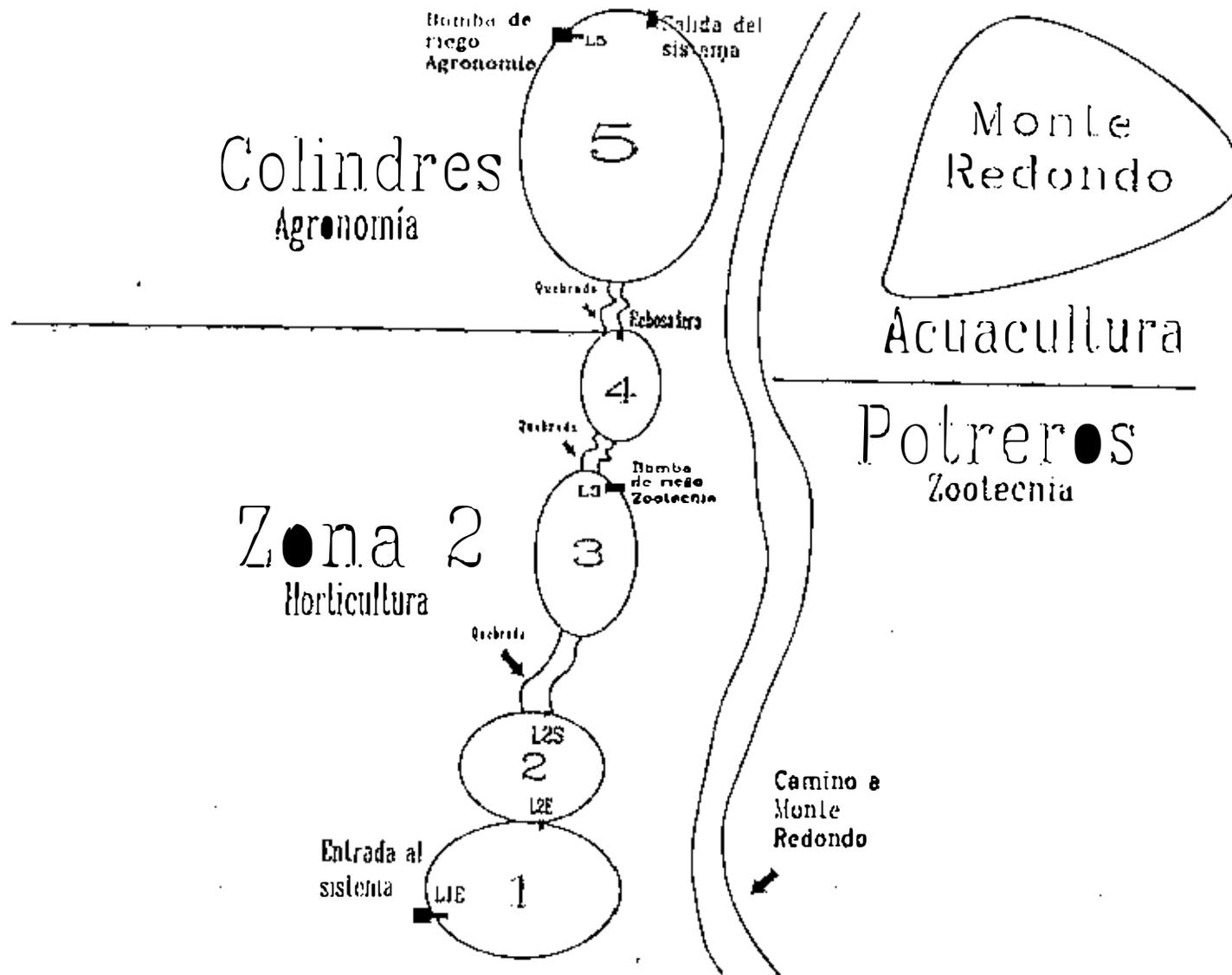


Figura 1. Esquema del sistema de lagunas de oxidación de la Escuela Agrícola Panamericana.

construido en 1984 por el Departamento de Planificación de la E.A.P. bajo la dirección del Ing. Carlos Gandarillas.

El sistema se encuentra establecido sobre la quebrada de La Rosa, que atraviesa el campus y tiene como destino final el río Yeguaré. El mismo, recoge la descarga de aguas negras de la red de alcantarillado del campus, constituido por tuberías de PVC y concreto de 8" y 10" de diámetro respectivamente, y una longitud de 2,115 m (Blair, 1995). La descarga es producida por 2,100 personas, de las cuales 428 son empleados en horas de oficina y los 1,672 restantes residen permanentemente en la Escuela¹.

Este sistema fue construido originalmente con dos lagunas. La primera laguna del sistema, construida en 1984, con un área de 3,957 m² y una profundidad de 1.5 m; recibe, provenientes del sistema de alcantarillado, las aguas negras producidas en las instalaciones ubicadas en el campus central de la Escuela². Estas son: el edificio administrativo, los laboratorios de idiomas, el edificio de planificación, los dormitorios de los estudiantes del programa de agrónomo, el herbario, la biblioteca, las casas de huéspedes y profesores, el comedor, la clínica y la piscina.

Además del aporte de las instalaciones mencionadas anteriormente, la laguna recibe las aguas lluvias recogidas por la quebrada, producto de la escorrentía superficial de caminos y tejados del área mencionada. El caudal presenta variaciones en cantidad y calidad dependiendo de las actividades que se realizan en el área. Esta laguna se diseñó en función

¹Departamento de personal. 1995. Población actual y futura del campus central de la E.A.P. El Zamorano, Honduras, E.A.P. (Comunicación personal)

²Departamento de Planificación. 1994. Diseño original del sistema de lagunas de estabilización de la E.A.P. El Zamorano, Honduras, E.A.P. (Comunicación personal)

del caudal y se estimó un tiempo mínimo de retención de aproximadamente 30 días³.

La segunda laguna recibe la descarga de agua pretratada en la primera. Al igual que ésta, fue construida en 1984, con un área de 3,362 m² y una profundidad de 2 m. Esta laguna fue construida para cumplir con la función de una laguna facultativa³.

En los diques que limitan esta laguna con las lagunas anterior y posterior existen líneas plantadas de bambú que actúan como barreras rompevientos. El tiempo de retención estimado originalmente, al igual que el de la laguna anterior, fue de 30 días.

La tercera laguna es una estructura muy simple, fue establecida sobre la quebrada en 1985, y se encuentra a un nivel evidentemente inferior a las dos anteriores. Como salida cuenta con una rampa de cemento que conduce el agua a la siguiente laguna. Esta laguna se diseñó para servir de reservorio de agua para el riego de cultivos cuyo consumo no representará un alto riesgo para la salud humana. En la época seca de 1994, fue utilizada por el Departamento de Zootecnia para regar ocasionalmente los lotes experimentales de la sección de Agrostología. No se tienen planes a corto plazo de volver a utilizar esta laguna como fuente de agua para riego.

La cuarta laguna es también muy simple y tiene un rebosadero, que generalmente se encuentra muy por encima del nivel del agua. No se ha podido establecer la presencia de ninguna estructura que sirva como salida.

La quinta y última laguna es la más grande del sistema, fue construida a fines de la década de los 40 por el Agr. Roberto García. El agua es utilizada por el Departamento de

³BARAHONA, J.S. 1995. La construcción del sistema de lagunas de oxidación en la E.A.P. El Zamorano, I Iond., E.A.P. (Comunicación personal)

Agronomía para regar sus cultivos de granos básicos en el área de Colindres. Para regar con el agua de esta laguna se utilizan los índices de crecimiento de los cultivos y la capacidad de campo, se establecen porcentajes de agotamiento del agua del suelo y el riego se realiza durante el tiempo necesario para recuperar este porcentaje de agotamiento; esta información nos permite conocer la frecuencia de riego en estos lotes de producción, durante el mes de marzo de 1995 se regó en cuatro ocasiones por un tiempo de 1 h 15 min⁴. La bomba utilizada fue una Kubota de 110 hp con un caudal de 1.200 gal/min⁵ (Rodríguez, 1995).

La tercera, cuarta y quinta laguna del sistema no se incluyeron en el diseño del sistema original, pero por su ubicación geográfica deben cumplir la función de lagunas de maduración.

El sistema de lagunas deposita su efluente, supuestamente tratado, en el río Yeguaré, fuente de agua potable, para riego y para recreación de las comunidades aguas abajo; además es uno de los principales afluentes del río Choluteca, el mismo que desemboca en el golfo de Fonseca, ubicado en el litoral pacífico de Honduras.

⁴MOREIRA, D. 1995. Uso de agua y métodos de riego utilizados por el Departamento de Agronomía de la E.A.P. El Zamorano, Hond., E.A.P. (Comunicación personal).

⁵RODRIGUEZ, M. Equipo de riego utilizado en la E.A.P. El Zamorano, Hond., E.A.P. (Comunicación personal).

1.3 Objetivos

El objetivo general de este estudio es evaluar la eficiencia del sistema de lagunas de estabilización del campus central de la Escuela Agrícola Panamericana, utilizando como parámetros la demanda bioquímica de oxígeno y la concentración de coliformes fecales por ser estos los parámetros más importantes utilizados para tal efecto.

Como objetivos específicos se plantean:

- Evaluar la eficiencia individual de cada una de las lagunas utilizando los mismos parámetros, además de indicadores biológicos observables.
- Describir el estado físico actual en que se encuentra cada una de las lagunas.
- Formular recomendaciones para mejorar el funcionamiento del sistema, en caso de que esto fuera necesario.
- Generar información útil para apoyar proyectos enfocados al tratamiento de las aguas negras generadas por la E.A.P.

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
CARRERA 13
TEGUCIGALPA, HONDURAS

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aguas negras

2.1.1 Concepto de aguas negras:

Las aguas negras son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población después de haber sido impurificadas por diversos usos.

Desde el punto de vista de su origen resultan de la combinación de desechos líquidos y sólidos arrastrados por el agua, procedentes de casas, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, y las aguas subterráneas y superficiales que puedan agregárseles (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990).

2.1.2 Clasificación de las aguas negras

2.1.2.1 Clasificación de las aguas negras según su origen

Según su origen las aguas negras pueden clasificarse en (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990):

- Domésticas
- Sanitarias
- Pluviales
- Combinadas
- Industriales

a. Aguas negras domésticas

Para Turk et al. (1973) las aguas negras domésticas se definen como aquellas que contienen desechos humanos y caseros, papel, jabón, detergente, polvo y microorganismos. Estas son típicas de zonas residenciales donde la actividad industrial es muy poca o nula. Según el Departamento de Sanidad del Estado de New York (1990) aguas negras domésticas son aquellas que contienen desechos humanos, animales y caseros. También incluyen la infiltración de aguas subterráneas que se puedan agregar, en el caso de que exista un sistema de recolección.

A su vez las aguas negras domésticas se pueden subdividir en dos:

- aguas negras, propiamente dicho, que están constituidas por heces y orina
- aguas grises que son las que recogen los desechos del baño, la cocina, etc. (Mara, 1977).

b. Aguas negras sanitarias

La definición de aguas negras sanitarias incluye en su definición a las aguas negras domésticas más gran parte o la totalidad de las aguas de desecho industriales de la zona (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990).

Para Turk et al. (1973) los términos sanitarias y domésticas son sinónimos.

c. Aguas negras pluviales

Están formadas por todo el escurrimiento superficial de las lluvias, que fluyen desde los techos, carreteras, caminos y las superficies naturales del terreno. Las mismas pueden

ser recolectadas en una red independiente de alcantarillado o en la misma que se utiliza para recolectar las aguas negras domésticas.

d. Aguas negras combinadas

Son una mezcla de las aguas negras domésticas o sanitarias y las aguas pluviales cuando se colectan en la misma alcantarilla.

e. Desechos industriales

Son las aguas de desecho provenientes de los procesos industriales o agroindustriales. Pueden colectarse y disponerse aisladamente o pueden agregarse y formar parte de las aguas negras sanitarias o combinadas. Un estudio sobre los desechos de las plantas agroindustriales de la Escuela Agrícola Panamericana fue hecho en el Zamorano entre 1994 y 1995 (Fuentes, 1995).

2.1.2.2 Clasificación de las aguas negras según su fuerza

Las aguas negras también pueden ser clasificadas por su fuerza, que se mide en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), mg/l (Cuadro 1). Se define como DBO a la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias para la descomposición aeróbica de los sólidos orgánicos presentes en las aguas negras (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990; Cubillos, 1985; Tebbutt, 1992; Dunne y Leopold, 1978; Chapman, 1992).

Cuadro 1. Clasificación de las aguas negras según su fuerza.

Fuerza	DBO
Débil	≤ 200
Mediana	350
Fuerte	500
Muy fuerte	≥ 750

Fuente: Cairncross y Feachem, 1983.

En el Cuadro 2 se muestra la DB₅ de varios efluentes comunes de aguas residuales.

Cuadro 2. Demanda Bioquímica de Oxígeno de algunos efluentes comunes.

Fuente	DB ₅ (mg/l)
Destilerías	10,000-30,000
Procesamiento de pulpa y papel	20-20,000
Esquilado de lana	200-10,000
Industria de enlatados	400-4,000
Establos y salas de ordeño	200-4,000
Procesadoras de carne	600-2,000
Feedlots	400-2,000
Ingenios azucareros	400-2,000
Plantas procesadoras de lácteos	200-2,000
Desmotadoras de algodón	50-1,750
Cervecerías	500-1,250
Aguas negras domésticas	100-400
Sistemas mixtos de alcantarillado	50-400
Escorrentía de aguas lluvias urbanas	>10

Fuente: Dunne y Leopold, 1978

2.1.3 Características indeseables de las aguas residuales

Cubillos (1985) hace una descripción bastante detallada de las características específicas que le imparten al agua los residuos vertidos, producto de las actividades humanas, industriales y otras explotaciones que se describen a continuación:

- Materia orgánica de ciudades e industrias que demandan del agua oxígeno disuelto para su oxidación. El verter materia orgánica en los cursos de agua rebaja las concentraciones de oxígeno disuelto y afecta adversamente a la biota natural, hasta el punto de hacer desaparecer especies sensibles como los peces, que generalmente y dependiendo de la especie, requieren niveles altos de oxígeno disuelto, superiores a 5 mg/l.
- Materiales en suspensión de ciudades, industrias y explotaciones animales, que se depositan en el lecho de ríos y lagos afectando los nichos naturales. La descomposición anaeróbica de la materia orgánica en el fondo, afecta adversamente a la biota de los cuerpos de agua. En ellos los productos de la descomposición son devueltos a las capas superiores del agua. Entre estos productos tenemos gases como metano, dióxido de carbono, nitrógeno y compuestos nitrogenados y fosfóricos, además de materia orgánica descompuesta.
- Metales pesados y compuestos tóxicos generados por la industria y la agricultura, que en concentraciones pequeñas afectan adversamente la vida acuática y a los usuarios de las fuentes de agua. Disminuyen el valor comercial de la pesca y en ocasiones imposibilitan el consumo por razones de salud pública. Por ejemplo: mercurio, cadmio, níquel, cromo, cobre y zinc.
- Color y turbiedad, originados por diversas actividades, crean problemas estéticos y hacen inadecuada el agua para uso doméstico e industrial. Disminuye la penetración de la luz y modifica la zona eufótica de los lagos.

- Nitrógeno y fósforo, principalmente de aguas residuales domésticas, fertilizan las aguas y pueden dar origen a crecimientos masivos de biomasa, principalmente de algas, que trastornan el equilibrio ecológico y causan condiciones desagradables en sitios de recreación. Estos compuestos afectan principalmente a lagos y estuarios. Este aumento anormal en la biomasa producida en los cuerpos de agua, trae como consecuencia un aumento en los valores de DBO de los mismos, debido a que la biomasa producida requiere grandes cantidades de oxígeno para descomponerse.
- Aceite y materia flotante producto de actividades de ciudades e industrias que generan condiciones desagradables a la vista, restringen la transferencia de oxígeno del aire al agua y afectan la biota. En el caso de derrames de petróleo, los efectos pueden ser desastrosos.
- Compuestos orgánicos pueden dar origen a sabores desagradables. Por ejemplo los fenoles, con el cloro forman clorofenoles, compuestos refractarios que no son transformados por la acción de microorganismos, persisten en el ambiente y se acumulan en la cadena alimenticia del ecosistema. Estos compuestos se originan a partir de actividades industriales.
- Calor de aguas de enfriamiento de la industria y plantas técnicas aumentan la temperatura normal de las aguas, modifican el ecosistema y afectan a las especies acuáticas, además reducen la transferencia de oxígeno, las concentraciones de saturación de oxígeno disuelto y aceleran el consumo de oxígeno de la biota del agua. El conocimiento de las características de las aguas residuales permite analizar las diferentes concentraciones y los efectos probables de los componentes sobre las

aguas receptoras y seleccionar los procesos de tratamiento que removerán los componentes indeseables en cantidades tales que minimicen el impacto desfavorable que tienen sobre los cuerpos receptores

2.2 Tratamiento de aguas negras.

2.2.1 Descripción general

Los sistemas típicos de tratamiento de agua tienen como objetivo principal la protección de la salud humana. Los tratamientos efectivos para este fin se logran mediante la remoción o destrucción de organismos patógenos o de sustancias químicas presentes en el agua cruda en concentraciones que están sobre los niveles establecidos como aceptables para propósitos de consumo o para corregir deficiencias estéticas u otras no muy relacionadas con la salud (McJunkin, 1988).

Según el Departamento de Sanidad del Estado de New York (1990), el tratamiento de aguas negras es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables.

Las prioridades son diferentes dependiendo del país donde se utilicen las estructuras de tratamiento. En los países desarrollados, la mayoría de las plantas de tratamiento tienen como objetivo principal la remoción de materiales que demandan oxígeno para su descomposición, los cuales podrían tener efectos en la estética o en la vida acuática de las corrientes receptoras. Por lo tanto, la eficiencia de las plantas de tratamiento se evalúa principalmente por los niveles de DBO de sus efluentes. A pesar de que existe una fuerte

relacion entre la reduccion de DBO y la cantidad de bacterias eliminadas (McJunkin, 1988), es claro que el tratamiento no está enfocado directamente a la protección de la salud humana, ya que la calidad de vida de estos países asegura la protección de la misma mucho antes del tratamiento de aguas residuales.

En países en vías de desarrollo, la mayoría de los cuales están localizados en climas tropicales, la realidad es muy diferente. Los riesgos en la salud que implica la disposición de excretas y aguas residuales hacia los cuerpos de agua son grandes y por lo tanto el tratamiento de éstos debe de enfocarse hacia la reducción o eliminación total de los patógenos y sustancias químicas nocivas presentes en las mismas.

Para este fin se han desarrollado una serie de métodos de tratamiento, de los cuales los procesos biológicos y dentro de éstos las lagunas de oxidación, constituyen uno de los métodos más eficientes y baratos para la remoción de virus, bacterias, metales y muchas sustancias químicas orgánicas e inorgánicas; reduciendo así los riesgos para la salud. Esta desinfección natural se puede conseguir simplemente brindando un almacenamiento que proporcione el tiempo necesario para que los patógenos se extingan naturalmente debido al ambiente inhóspito al que son sometidos (McJunkin, 1988). Estos sistemas se desarrollaron en los Estados Unidos y Gran Bretaña como una práctica eminentemente agrícola, ya que las aguas negras de los sistemas urbanos podían enriquecer y regar suelos sedientos de agua y hambrientos de nutrientes (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990).

2.2.2 Métodos convencionales para el tratamiento de Aguas Negras

Como existe una gran variedad de técnicas y procedimientos para el tratamiento de aguas negras y su descripción individual se alejaría mucho del lineamiento del presente trabajo, se hace una descripción general de los procedimientos de tratamiento convencional mencionados por Pescod (1992).

2.2.2.1 Tratamiento preliminar

El objetivo del tratamiento preliminar es remover los materiales grandes y groseros, presentes comúnmente en las aguas de desecho. La remoción de estos materiales es necesaria para permitir el buen funcionamiento y mantenimiento de las unidades subsecuentes de tratamiento. Los pasos de tratamiento preliminar que generalmente se siguen son:

- remoción de materiales grandes y gruesos
- filtros de arena y grava
- pulverizadores
- secadores
- sistemas de cloración y de cloración.

2.2.2.2 Tratamiento primario

El objetivo principal de este paso es eliminar por sedimentación la mayor parte de los sólidos orgánicos e inorgánicos además de la remoción de la espuma. Aproximadamente el 25 al 50% de la DBO, el 50 al 70% de los sólidos suspendidos y el 65% de grasas y

aceites son removidos durante el tratamiento primario. Algo de nitrógeno y fósforo orgánicos, además de los metales pesados asociados con los sólidos, son también removidos, pero los constituyentes coloidales y disueltos no son afectados. Este nivel es el mínimo requerido en algunos países para tratar el agua que será utilizada para el riego superficial de cultivos no destinados al consumo humano.

2.2.2.3 Tratamiento secundario

El objetivo del tratamiento secundario es el de remover los sólidos suspendidos, los residuos orgánicos y parte de los microorganismos que quedan en las aguas después del tratamiento primario. Generalmente este nivel de tratamiento incluye el uso de procesos aeróbicos de tratamiento biológico para metabolizar la materia orgánica (Fair et al., 1989).

Los métodos más comunes son:

- lodos activados
- biofiltros o filtros de gota
- biofiltros rotativos de contacto.

2.2.2.4 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario o tratamiento avanzado tiene como objetivo la remoción de constituyentes específicos de las aguas negras que no pueden ser removidos con los tratamientos anteriores. Ejemplos de estos constituyentes son los metales pesados, el nitrógeno y el fósforo.

2.2.2.5 Desinfección

Normalmente el proceso de desinfección forma parte del tratamiento terciario, pero, por su importancia, puede ser considerado como un procedimiento aparte. Este proceso se realiza para eliminar los componentes microbiológicos de las aguas tratadas y es común utilizar desinfectantes. El cloro, a pesar de ser considerado un contaminante potente y un cancerígeno comprobado, es el elemento más utilizado para la desinfección debido a su efecto residual; su dosis depende de la calidad microbiológica del agua a tratar. También se utiliza ozono y luz ultravioleta para obtener el mismo efecto desinfectante, con la única diferencia de que no tienen efecto residual. Generalmente se utiliza cloro cuando el agua tratada va a ser reutilizada para el consumo humano.

2.2.3 Métodos biológicos

Para Pescod (1992) los métodos biológicos de tratamiento de aguas negras y entre éstos el de lagunas de oxidación, son los más apropiados para el tratamiento de efluentes de uso agrícola, porque presentan mejores tasas de eliminación de patógenos que los tratamientos convencionales sin incluir la desinfección. Por su efectividad y bajo costo de construcción y mantenimiento, se considera como el método más apropiado para el tratamiento de aguas negras en los países en vías de desarrollo.

2.2.3.1 Lagunas de oxidación o lagunas de estabilización

Las lagunas o estanques de estabilización, también llamadas lagunas de oxidación, son generalmente estructuras abiertas al sol y al aire, recursos que utilizan para tratar las

aguas de desecho por medio de la participación de algas y bacterias (Mara 1977). Para McJunkin (1988) los estanques de oxidación son grandes depósitos con poca profundidad que brindan la oportunidad para descomponer la materia orgánica durante periodos extensos. Este método se desarrolló en climas cálidos, donde prevalecen los días soleados, con temperaturas altas y relativamente constantes; pero se ha visto que operan con resultados satisfactorios en climas más fríos y nublados.

Desde hace varias décadas se utilizan lagunas de oxidación en casi cualquier parte del mundo, variando su eficiencia según las condiciones climáticas (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990).

Las lagunas de oxidación pueden usarse como un tratamiento completo cuando reciben aguas negras crudas, como un tratamiento secundario para aguas negras sedimentadas o también como tratamiento adicional para efluentes de procesos secundarios. Para Cairncross y Feachem (1983) las lagunas de estabilización u oxidación son indudablemente el método más efectivo para el tratamiento de aguas negras en climas tropicales. Este tratamiento se da gracias a procesos físicos, químicos y biológicos enteramente naturales, no necesita de ningún tipo de maquinaria y requiere como única fuente de energía al sol.

Entre las características más importantes del sistema podemos destacar la capacidad que tienen de reducir las concentraciones de microorganismos, produciendo efluentes de muy alta calidad (menos de 100 coliformes fecales por 100 ml de agua) que son apropiados para el riego irrestricto (WHO, 1973; Feachem et al., 1983). La mayor desventaja que presentan las lagunas de oxidación es que requieren áreas extensas. Como una regla general

se puede decir que en climas calurosos y soleados se necesitan de 0.3 a 0.4 ha por cada mil personas (Cairncross y Feachem, 1983).

Feachem et al.(1983), al igual que muchos otros autores discuten detalladamente los estanques. Debido a que estos estanques permiten largos periodos de retención, existe mayor oportunidad de que los patógenos se extingan natural y progresivamente, lo que produce una eliminación muy eficaz de estos organismos. Algunos autores han informado sobre remociones de coliformes de 70 a 85% a 20 °C en 3.5 días. Los estanques simples facultativos y aeróbicos con 10 a 30 días de retención pueden brindar una remoción de coliformes entre 80 y 99% cada una, dependiendo de la temperatura ambiental.

Desafortunadamente las lagunas de estabilización de aguas residuales pueden brindar excelentes condiciones para la reproducción de mosquitos y otros vectores de enfermedades. Esto puede controlarse evitando el crecimiento de vegetación en los mismos y construyéndolos de más de un metro de profundidad, al igual que utilizando lozas de concreto a la altura de la superficie del agua.

A pesar de lo expuesto anteriormente la efectividad relativa de los sistemas de lagunas de estabilización con respecto a la remoción de patógenos tiene poca significancia porque no refleja los riesgos reales que el margen de coliformes no eliminados puede tener sobre la salud de una población. Por ejemplo, en un influente de aguas residuales conteniendo 10^5 bacterias patógenas por 100 ml de agua, una remoción del 99% implica que aún después del tratamiento quedan en el agua 10^3 bacterias por litro de efluente, lo que es inaceptable si el cuerpo receptor es utilizado aguas abajo como suministro de agua potable o para el riego de vegetales de consumo fresco.

2.2.3.2 Tipos de lagunas de estabilización

Según su función existen tres tipos de lagunas de estabilización:

- Anaeróbica.
- Facultativa.
- De maduración.

a. Lagunas anaeróbicas

Las lagunas anaeróbicas son básicamente tanques sépticos abiertos utilizadas para tratar aguas negras fuertes y constituye el sistema de tratamiento biológico más ventajoso para tratar aguas de desecho con alto contenido de sólidos orgánicos (Mara 1976; 1977).

Algunas veces pueden utilizarse estanques anaeróbicos con 1 a 5 días de retención y una profundidad de 2 a 4 m, para un pretratamiento antes de pasar a los estanques facultativos o a los de maduración (McJunkin, 1988). Una característica de estas lagunas es la espuma densa y blanca que se forma en la superficie del agua, esta evidencia la actividad anaeróbica.

Para evitar la presencia de malos olores se recomienda que la carga de DBO_5 del agua no exceda los $400 \text{ g/m}^3/\text{día}$, ya que con concentraciones mayores la producción de ácido sulfhídrico como resultado de la descomposición anaeróbica es tal, que la presencia de su olor característico es fácilmente notable (Cairncross y Feachem 1983).

A una temperatura de 20°C la remoción de DBO_5 es normalmente del 50% en un solo día y puede llegar hasta el 70% en cinco días (Mara 1977). Las lagunas anaeróbicas

requieren de mantenimiento cada 3 a 5 años, dependiendo del volumen de sedimentos acumulados (Mara, 1976).

Si la carga de DB \bullet del agua es menor a 250 g/l la fuerza del agua no es suficiente para impedir los procesos de descomposición aeróbica y al mismo tiempo permite las actividades de descomposición anaeróbica, por lo tanto se recomienda utilizar directamente lagunas facultativas (Cairncross y Feachem, 1983).

b. Lagunas Facultativas

El tipo más común son los estanques facultativos, en los cuales el oxígeno se suministra a través de la fotosíntesis de las algas; su tiempo de retención oscila entre 10 y 40 días. Son las más comunes y usualmente las más grandes en el sistema. Generalmente reciben agua de un tratamiento anterior, como una laguna anaeróbica o un pozo séptico. Son llamadas facultativas porque en ellas se dan condiciones tanto aeróbicas como anaeróbicas, las primeras cerca de la superficie y las otras cerca del fondo (Mara, 1977).

En este tipo de lagunas se desarrolla una simbiosis entre algas y bacterias. Las algas producen oxígeno, el que es aprovechado por las bacterias para oxidar los residuos orgánicos que se encuentran en el fondo de la laguna. Como producto de esta oxidación se genera CO $_2$, el mismo que es aprovechado por las algas para fotosintetizar carbohidratos (Cairncross y Feachem 1983). Además de la actividad aeróbica de la superficie se da una descomposición anaeróbica en el fondo de la laguna, donde la luz del sol no llega y por lo tanto, la fotosíntesis no se lleva a cabo (Figura 2).

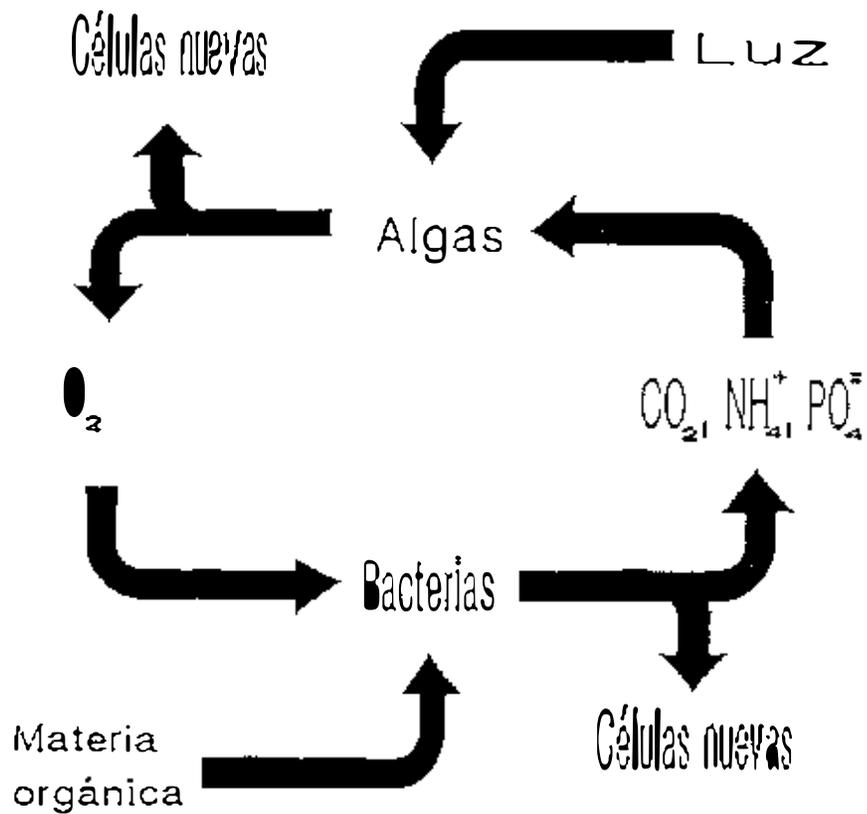


Figura 2. Explicación gráfica de la simbiosis que se da entre algas y bacterias en una laguna facultativa (Fuente: Mara, 1977)

Las lagunas facultativas son las responsables de la remoción de la mayor parte de la DBO que queda en el agua, llegando a obtenerse valores que van de 50 a 70 mg/l (Mara 1976) (Figura 3).

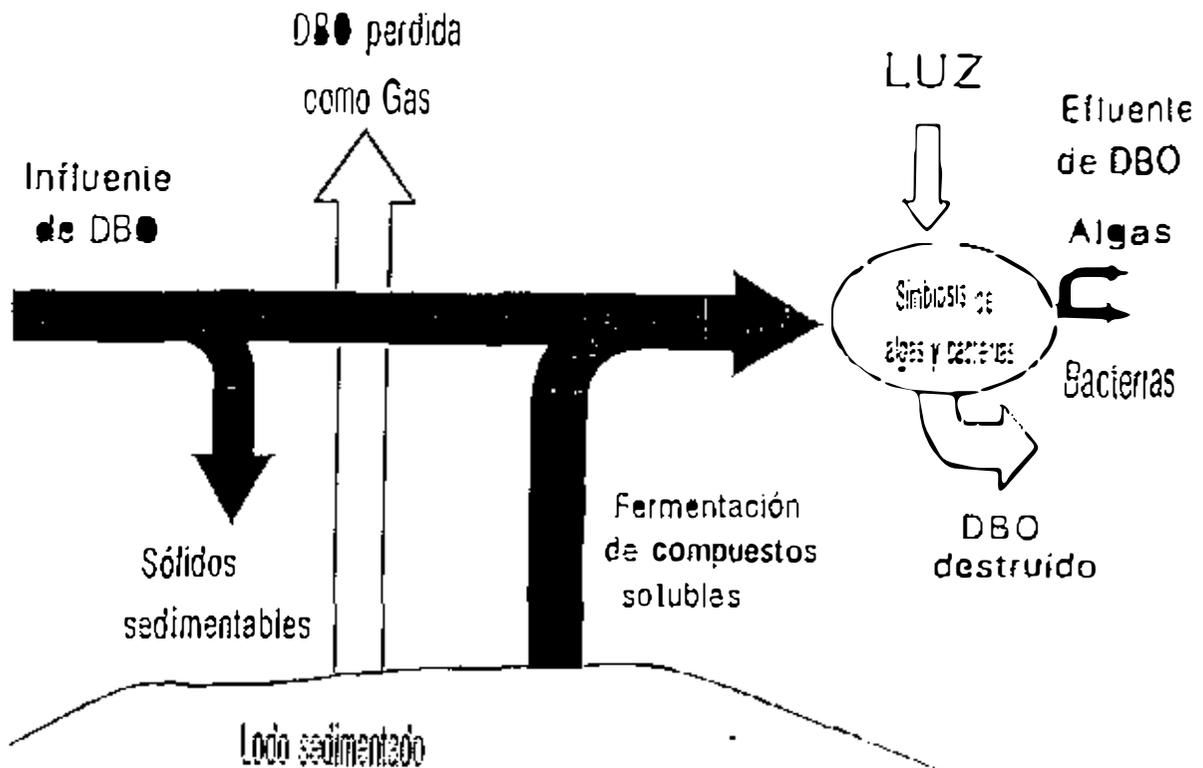


Figura 3. Vías de remoción de DBO en una laguna de estabilización (Fuente: Mara, 1977).

La profundidad de este tipo de lagunas es de 1 a 1.5 m, se utilizan estas profundidades para evitar el crecimiento de plantas acuáticas y a la vez permitir que la luz llegue a las algas que se encuentran en suspensión. Las lagunas requieren mantenimiento cada 10 a 20 años según el volumen de residuos depositados.

En cuanto al área, se recomienda como regla práctica una hectárea de laguna por cada 1,000 usuarios.

Las lagunas facultativas por lo general van seguidas de una serie de 2 ó 3 lagunas de maduración.

c. Lagunas de Maduración

Los estanques de maduración pueden recibir efluentes de estanques facultativos o de otras unidades de tratamiento para mejorar la calidad de la descarga. Frecuentemente están diseñados para tiempos de retención que van de 5 a 10 días (McJunkin, 1988).

Las lagunas de maduración son el paso siguiente a las lagunas facultativas. Por lo general se construyen en series de 2 ó 3 y son responsables de la eliminación final de la DBO, llegando a niveles inferiores a 25 mg/l, pero su función principal es la de eliminar los microorganismos fecales presentes en el agua.

Las lagunas de maduración son completamente aeróbicas y mantienen esta condición hasta los 3 m de profundidad aproximadamente, por lo que son ideales tanto para la crianza de organismos acuáticos como para el riego agrícola. El tiempo de retención depende del nivel de reducción de coliformes que se quiera obtener (Mara 1977). Con una serie de tres lagunas de 1 a 1.5 m de profundidad y con una retención de 7 días podemos entre 95 y 99% de los organismos en cuestión.

2.3 Aguas negras, riego y salud humana:

Se prevee que en los próximos 20 años la disponibilidad y calidad del agua disminuirán significativamente, especialmente en los países en vías en desarrollo donde el aumento proporcional de la población es mayor que en el resto del mundo (Rieff, 1992).

Esto significa que la agricultura bajo riego deberá enfrentarse a la disminución de los recursos hídricos y a un deterioro progresivo de la calidad química y biológica del agua.

Como resultado de la situación económica que atraviesan actualmente los países en desarrollo se ha producido una disminución en la implementación de proyectos de riego; sumado ésto al alto costo de los fertilizantes artificiales, se ha producido un aumento en la utilización de aguas servidas para el riego de los cultivos, particularmente en las regiones áridas del mundo (Arlosoroff, 1987).

A continuación se enumeran algunos de los efectos negativos que puede tener la utilización de aguas servidas para riego, en orden decreciente de importancia sobre la salud (Reiff, 1990):

- Modificaciones ambientales adversas que traen como consecuencia el mejoramiento de las condiciones de reproducción de los vectores de enfermedades.
- Contaminación microbiológica de los cultivos alimenticios producto de la utilización de agua contaminada con desechos humanos o la escorrentía de las áreas de pastoreo y establos.
- Contaminación de los cultivos alimenticios con sustancias químicas tóxicas presentes en las aguas negras.
- Contaminación de cuerpos de agua utilizados para la recreación, como consecuencia de la escorrentía de los sistemas de riego.
- Otros varios efectos relacionados con la salud.

Existen otros riesgos adicionales asociados con el uso de agua de riego contaminada con aguas servidas, entre los que podemos mencionar:

- El riego de pastizales para el ganado con aguas servidas sin depurar, puede ser un factor importante en la transmisión de teniasis (tenia del vacuno) (WHO, 1989).
- Los trabajadores agrícolas en las áreas regadas con aguas servidas también pueden estar expuestos a riesgos adicionales debido al contacto directo o a la inhalación del agua durante los períodos de riego, además de ser susceptibles a la anquilostomiasis, si no usan calzado apropiado (Shuval et al., 1986).

Como hemos visto, aunque el riego puede dar como resultado muchos beneficios, incluyendo el mejoramiento de la salud a través de una nutrición adecuada, existen muchas maneras en que puede producir efectos adversos en la salud si no se toman las precauciones adecuadas. Las recomendaciones de la WHO (1989) para la calidad microbiológica del agua para riego de cultivos que comúnmente se ingieren crudos son un promedio geométrico de menos de 100 coliformes fecales por 100 ml y un promedio de menos de un huevo de nemátodo intestinal por litro.

Los cultivos comprometidos en la propagación de estas enfermedades son los cultivos a ras del suelo que generalmente se comen crudos tales como lechuga, repollo, apio, zanahorias, melones, frutillas y otros similares.

Estudios realizados por el Centro de Estudios para la Ingeniería Sanitaria (CEPIS) de la OPS, han demostrado que el agua utilizada para refrescar los productos camino a los mercados y en el mercado, puede ser una fuente de contaminación de igual o mayor importancia que el agua utilizada para el riego (Esparza, 1990).

Las enfermedades más comunes asociadas con el riego de los cultivos con aguas servidas inadecuadamente tratadas, o con aguas contaminadas con desagues urbanos son:

el cólera, la tifoidea, la ascariasis, la amebiasis, la giardiasis y la diarrea producida por *Escherichia coli* (Reiff, 1990).

La restricción de diferentes clases de cultivos, según los niveles de calidad del agua de riego, ha sido recomendada con frecuencia para asegurar la obtención de cultivos libres de patógenos. Sin embargo, esta manera de asegurar la calidad generalmente ha fracasado en los países en vías de desarrollo, sencillamente porque el monitoreo, la inspección y el control son inadecuados (Reiff, 1990).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Muestreo

3.1.1 Principios generales sobre la toma de muestras en aguas negras (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990).

- Las muestras deben tomarse donde las aguas estén bien mezcladas. Esto se logra fácilmente si se localiza el punto de muestreo donde el flujo de aguas negras sea turbulento. En el caso de las dos primeras lagunas esto ocurre en la entrada del sistema de alcantarillado a la primera laguna y en la entrada y salida de la segunda laguna.
- Deben excluirse las partículas grandes, considerándose como tales las mayores de 6 mm. Esto se justifica porque si se incluyen partículas grandes en una muestra de un galón o menos, significaría que las aguas negras contendrían un millón de estas partículas, un millón de veces más grandes, por cada millón de galones de aguas negras. Para evitar esto se debe utilizar un tamiz.
- Las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible después de la recolección de las mismas. Si esto no fuera posible, las muestras deben enfriarse para retardar la acción de los microorganismos, en este caso serán conservadas con hielo a aproximadamente 4 °C. La conservación no debe hacerse por más de 24 horas.
- La toma de las muestras debe ser lo más fácil que sea posible. Los puntos de muestreo deben ser de fácil acceso, el equipo debe estar a la mano y se deben tomar las precauciones necesarias para proteger al personal de muestreo de una posible contaminación.

3.1.2 Fecha de muestreo

Se planeó realizar un solo muestreo porque no se esperaba mucha variación en la composición de las aguas negras generadas por el campus central de la Escuela Agrícola Panamericana debido a que la rutina que siguen los estudiantes, residentes y actividades que consumen agua en esta zona bastante constante.

Originalmente el muestreo se planeó para el Jueves 16 de marzo de 1995. Se escogió este día porque es en el cual se efectúa la inspección semanal de dormitorios, la misma que incluye el aseo de los sanitarios provocando un aumento en el gasto de agua. Además de esto, el día Jueves en la madrugada se realizó una prueba de campo de los métodos a utilizar y se estimó conveniente mejorar la técnica y posponer el muestreo hasta el Viernes 17, este día tuvieron problemas con la formación de la muestra compuesta por lo que se determinó que los datos obtenidos de este muestreo no eran confiables, por lo tanto se decidió repetir el muestreo el 14 de julio del mismo año.

3.1.3 Sitios de muestreo

Por las características del sistema y las condiciones climáticas que imperaban en el mes de julio, el sistema presentaba características que permitían y obligaban a dividirlo en dos secciones (Figura 1).

La primera sección, estuvo constituida por las dos primeras lagunas que presentaban un flujo continuo tanto de entrada como de salida de agua superficial. En esta sección del sistema se tomaron las muestras en los siguientes sitios:

- La entrada del sistema.
- La entrada de la segunda laguna.
- La salida de la segunda laguna.

La segunda sección, constituida por la tercera, cuarta y quinta laguna, en las cuales el agua no presentaba un movimiento superficial medible con las técnicas e instrumentos utilizados. En esta sección del sistema se tomaron las muestras en los siguientes sitios:

- La toma de agua de la bomba de riego en la tercera laguna.
- El rebosadero de la cuarta laguna.
- La toma de agua de la bomba de riego en la quinta laguna.

No se tomaron muestras en el centro de la laguna porque la información que se buscaba obtener era la de eficiencia del sistema y de cada una de las lagunas individualmente y no de los procesos que se dan dentro de las mismas.

3.1.4 Tipos de muestras

Tomando en cuenta las características que presentan en cada una de las secciones del sistema, se colectaron dos tipos de muestras:

- Muestras compuestas en las dos primeras lagunas, que son las que cumplen con las condiciones adecuadas, debido a que existe flujo continuo de agua superficial.
- Muestras instantáneas en las tres lagunas siguientes que no presentan un flujo medible de agua superficial.

3.1.4.1 Muestras compuestas

Siguiendo los principios básicos de muestreo propuestos por el Departamento de Sanidad del Estado de New York (1990) se procedió a muestrear en forma compuesta las dos primeras lagunas.

El procedimiento se basa en hacer una mezcla proporcional de las muestras recolectadas a diferentes horas del día para obtener una muestra compuesta representativa del período de tiempo en cuestión, balanceando o incorporando así los importantes efectos intermitentes de caudal y concentración.

Para obtener las proporciones de cada una de las submuestras, al momento de tomar cada muestra se debe medir el caudal de agua que entra o sale del cuerpo de agua. Una vez obtenidos los valores de caudal, se suman los mismos y se obtiene la proporción que representa cada una de las medidas. La ecuación utilizada para el efecto se muestra a continuación.

$$C_x\% = [C_x / \sum(C_1 \dots C_n)] \times 100$$

Donde: C_x = caudal de cualquiera de las muestras

n = número de muestras

Con los valores proporcionales del caudal total que se obtienen se procede a calcular la cantidad de la muestra compuesta total que representa cada una de las submuestras.

$$V_x = (C_x\% \times V_m) / 100$$

Donde: V_x = volumen de la muestra x (ml).

V_m = volumen de la muestra (2,000 ml)

La medida de estos volúmenes se hizo con probetas de vidrio de 50 y 1,000 ml, graduadas cada 1 y 1,000 ml respectivamente.

Las muestras compuestas reflejan las características de las aguas negras durante un período de tiempo determinado. Las muestras deben recogerse con la frecuencia suficiente para obtener resultados promedio. Si la concentración y el caudal no fluctúan repentinamente, como en este caso, se pueden tomar muestras cada hora durante periodos de doce horas o más. Si las fluctuaciones son repentinas el intervalo de tiempo debe ser menor. El periodo de muestreo puede variar dependiendo del personal disponible y el uso que se le da a los resultados. Las muestras compuestas se utilizan generalmente para determinar las características de las aguas negras y la eficiencia de los sistemas de tratamiento (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990; Fuentes, 1995).

Para la recolección de estos datos se utilizó una tabla (Anexo 1) y una hoja de cálculos que incluyen la información necesaria para realizar la mezcla.

3.1.4.2 Muestras instantáneas

Debido a la falta de flujo evidenciada en el resto de las lagunas, se utilizó en éstas la técnica de muestreo instantáneo. Las muestras debieron ser tomadas en los periodos críticos del día, es decir aquellas horas en las cuales el sistema presenta el mayor gasto de agua. Pero, debido a que las lagunas no presentaron un flujo superficial de agua medible durante ningún momento del día, se procedió a tomar las muestras a tres horas diferentes, escogidas arbitrariamente durante la mañana, tarde y noche del día de muestreo.

Las muestras instantáneas fueron recolectadas en:

- Laguna 3: en la toma de aguas de la bomba de riego de Zootecnia.
- Laguna 4: en el rebosadero de concreto.
- Laguna 5: en la toma de agua de la bomba de riego de Agronomía.

Estos lugares se escogieron para determinar la eficiencia de cada una de las lagunas tomando en cuenta el uso que se le da al agua de las mismas.

3.1.5 Hora de muestreo

Siguiendo el esquema de actividades de la E.A.P. las muestras se tomaron de 4:15 a 23:15 h se tomó en cuenta que la primera actividad que consume agua es la de la cocina, realizada en el comedor, que comienza a las 4:30 hrs y que las actividades estudiantiles terminan a las 21:45 h, entonces era durante este periodo cuando se esperaba la mayor carga de sólidos y materia orgánica que iba a ingresar al sistema.

Dado de que el aporte del campus entre las 23:15 y las 4:15 h es significativo; se estimó que los caudales registrados a dichas horas representan por igual el periodo de tiempo que representan y por lo tanto ambas muestras deben de aportar a la muestra compuesta la cantidad proporcional a 5 h de líquido, que corresponde a 2.5 h cada una.

3.1.6 Frecuencia de muestreo

Habiendo decidido que un intervalo de 60 min entre muestras es adecuado para las variaciones de caudal y tomando en cuenta la logística del muestreo, estas se tomaron con intervalos de 60 min, tomando en cuenta que cada toma de muestras llevó aproximadamente

30 minutos en los tres primeros sitios y que se tenían que recolectar las muestras en las otras tres lagunas.

3.1.7 Medición de caudal

Las medidas de caudal son un requisito necesario para obtener la proporción de la muestra que va a representar cada una de las submuestras en la muestra compuesta. El procedimiento de mezcla se describió en el punto 3.1.4.1. Además de ser necesaria para la conformación de la muestra compuesta, las medidas del caudal nos permiten determinar cuál es la carga real de agua, en cantidad, que reciben y aportan al sistema las dos primeras lagunas.

Para determinar el caudal se utilizó el método volumétrico, el cual consiste en tomar con un cronómetro, el tiempo que se requiere para llenar un volumen conocido. Dado que la salida del sistema a la laguna se encontraba aproximadamente dos centímetros por debajo de la superficie del agua se colocó una bolsa plástica alrededor del tubo de salida y se aseguró el mismo con cintas de caucho de manera que quedara como una manga que permitiera el paso del agua a un recipiente de 19 l.

El sistema resultó muy confiable y se aplicó también a la entrada de la segunda laguna, pero en este caso para medir el caudal se utilizó un recipiente de 7.2 l.

Para la tercera laguna también se utilizó el recipiente de 19 l, ya que el volumen de agua a recolectar era grande y el mal estado en que se encontraba la estructura de descarga facilitaba la recolección. Al igual que en la entrada de la laguna 1, se utilizó el recipiente de 19 l.

Para asegurar la representatividad de las muestras se tomaron cinco medidas de tiempo para cada una de ellas y se trabajó con el promedio para obtener el caudal.

3.1.8 Identificación de muestras

Para evitar confusiones al momento de integrar la muestra compuesta se elaboró una etiqueta. Esta se escribió sobre trozos de masking tape con marcadores indelebles. En ella que se incluía la siguiente información:

a. Lugar de muestreo:

Para identificar los seis lugares de muestreo existentes se utilizó la nomenclatura que se expone a continuación.

1. Entrada al sistema o entrada a la primera laguna = L1E.
2. Entrada a la segunda laguna = L2E.
3. Salida de la segunda laguna = L2S.
4. Tercera laguna = L3.
5. Cuarta laguna = L4.
6. Quinta laguna = L5.

b. Número de muestra:

Se siguió una secuencia numérica ascendente para marcar cada una de las muestras recolectadas.

c. Hora de muestreo:

Se colocó a cada submuestra la hora en que fue recolectada, para esto se utilizó el formato de 24 hrs. Esta información sirvió como apoyo a la información anterior para llevar la secuencia de las muestras.

3.1.9 Conservación de muestras

Dada la duración del muestreo, fue necesario conservar las muestras a baja temperatura. La temperatura recomendada¹ es de aproximadamente 4°C; esta temperatura se recomienda para reducir la velocidad de las reacciones químicas y biológicas en la muestra y así obtener medidas más exactas del estado del agua en las lagunas en términos de DBO y coliformes fecales. Para este fin se utilizaron hieleras con hielo hasta un cuarto de su capacidad total.

3.1.10 Implementos de muestreo

Para recolectar las submuestras se utilizaron 57 botellas plásticas de 750 ml y para las muestras compuestas se utilizaron botellas plásticas de 1,800 ml. Para evitar la inclusión de partículas grandes en las muestras se utilizó un tamiz de cocina (malla 400). Para tomar las medidas de caudal se utilizaron recipientes plásticos graduados de 7.2 y 19 l. Además se utilizó un cronómetro.

¹ VILAFRANCA, M.; VILAFRANCA, P. 1995 Procedimientos para la recolección, conservación y transporte de aguas negras. Tegucigalpa, Hond., Laboratorios MQ (Comunicación personal)

Para elaborar las mangas que permitían el pasó de agua hasta los recipientes se utilizaron bandas de plástico de aproximadamente 0.5 m x 0.5 m, para asegurar estas a los tubos se utilizaron cintas de caucho obtenidas de neumáticos viejos.

3.1.11 Personal

Debido a las condiciones de acceso de los sitios de muestreo se hizo necesaria la participación de tres personas: dos para tomar las muestras y una para manejar el cronómetro y tomar nota de los datos obtenidos.

3.1.12 Análisis de laboratorio

Los análisis de DBO y coliformes fecales se realizaron en los Laboratorios de Análisis Industriales MQ en la ciudad de Tegucigalpa, estos análisis estuvieron a cargo de la Ing. Mirtha Villafranca y la Lic. Patricia Villafranca.

3.1.13 Protección de la salud

Debido al alto riesgo de contaminación al que se veía expuesto el personal involucrado en el muestreo y siguiendo las recomendaciones generales expuestas en el punto 3.1.1, se hizo necesario establecer una rutina sanitaria con una serie de normas que se presentan a continuación:

- Usar guantes para proteger las manos durante el muestreo y la manipulación del equipo.

- Durante los muestreos, no tocar ninguna parte expuesta del cuerpo con las manos, especialmente la cara.
- Utilizar botas de hule para evitar el contacto con el agua.
- Cambiar el par de guantes (en el caso de que sean desechables) y lavarse las manos con alcohol u otro desinfectante después de cada muestreo.
- Al finalizar las actividades de muestreo, desinfectar absolutamente todo el equipo utilizado
- No comer o beber antes de haberse desinfectado las manos y la cara.

3.2 Tiempo de retención:

Para calcular el tiempo de retención se utilizaron las formulas propuestas por Cairncross y Feachem (1983). Debido a las características de construcción del sistema fue necesario hacer los cálculos para tres situaciones diferentes: la situación actual, óptimo actual, y la situación óptima o teórica. Para los tres casos se utilizaron las mismas fórmulas.

3.2.1 Laguna anaeróbica:

Como se mencionó antes, dadas las características del sistema de la E.A.P. se asume que la primera laguna del mismo cumple con la función de una laguna anaeróbica.

Las fórmulas utilizadas para calcular el tiempo de retención son las siguientes:

$$\lambda_v = (L_f \times Q) / V$$

$$\lambda_v = 250 \text{ mg/l} \times \text{día}$$

Donde:

λ_v = carga volumétrica de DBO₅ en mg/l

L_i = concentración de DBO₅ del influente en mg/l

Q = volumen diario de agua en m³

v = volumen de la laguna.

Entonces, si el volumen diario y la fuerza del influente de las aguas negras son conocidos, el volumen requerido de la laguna puede ser calculado; y seleccionando la profundidad deseada entre 2 y 4 m, se puede calcular el área.

Ahora, conociendo que:

$$t^* = v/Q$$

Donde:

t^* = tiempo de retención en días.

Podemos decir que:

$$t^* = L/\lambda_v \text{ ó}$$

$$t^* = L/250$$

3.2.2 Laguna facultativa:

Este procedimiento, a diferencia del anterior, se basa en la carga superficial de DBO, en vez de la carga volumétrica. Esto se debe a que la capacidad de la laguna está determinada por la cantidad de luz solar que recibe, que finalmente determinará la producción de algas.

La siguiente fórmula empírica está basada en una considerable experiencia en el tema:

$$\lambda_s = 20T - 120$$

Donde:

λ_s = carga superficial de DBO (mg/l)

T = temperatura promedio del mes más frío del año

Para uniformizar unidades entre esta fórmula y las siguientes, el valor obtenido en esta se debe multiplicar por un factor de 10, esto permite comparar la carga superficial (λ_s) con la remoción esperada de DBO (λ_r) y así poder determinar el porcentaje removido.

De aquí se puede obtener la fórmula para calcular el área de la laguna:

$$A = Q L_i / (2T - 12)$$

Donde:

A = área de la laguna (m²)

Q = flujo de aguas negras (m³/día)

L_i = DBO₅ del influente (mg/l)

Si fuera necesario calcular la DBO del efluente, esto se puede hacer con la siguiente fórmula empírica:

$$\lambda_r = 0.725\lambda_s + 10.25$$

Donde:

λ_r = remoción de DBO (kg/ha x día)

λ_s = carga superficial de DBO (mg/l)

3.3. Reducción de bacterias:

Cubillos (1982) menciona que la reducción de bacterias en una laguna, ya sea aeróbica, facultativa o de maduración sigue la siguiente ecuación:

$$N_e = N_i / (1 + K \times t^*)$$

Donde:

N_e = número de bacterias por 100 ml del efluente

N_i = número de bacterias por 100 ml del influente

K = constante determinada para cada tipo de bacterias

t^* = tiempo de retención en días.

El valor de K para coliformos fecales está dado por la siguiente ecuación:

$$K = 2,6(1,19)^{T-20}$$

Para lagunas anaeróbicas el valor de K se reduce en un 50% por lo que la ecuación quedaria como:

$$K = [2,6(1,19)^{T-20}] / 2$$

Para un sistema de lagunas, incluyendo una laguna anaeróbica, la ecuación quedaria de la siguiente manera:

$$N_e = N_i / \{ (1 + (K/2)t_a^*) (1 + Kt_f^*) (1 + Kt_{m1}^*) (1 + Kt_{m2}^*) (1 + Kt_{m3}^*) \}$$

Donde:

t_a^* , t_f^* , t_{m1}^* , t_{m2}^* , t_{m3}^* = tiempos de retención de lagunas anaeróbica, facultativa y de maduración respectivamente.

N_e = número de bacterias por 100 ml del efluente

N_i = número de bacterias por 100 ml del influente

K = constante determinada para cada tipo de bacterias

n = número de muestras

a = anaeróbica

f = facultativa

m = maduración

El cuadro 3 presenta los datos de sedimentación de las lagunas del sistema, obtenidos por Blair (1995), en el se muestran además las características físicas del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P., datos indispensables para utilizar las fórmulas expuestas anteriormente.

Cuadro 3. Características físicas representativas del sistema de lagunas de oxidación de la Escuela Agrícola Panamericana

Laguna	Area (m ²)	Prof. (m)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /dia)	Sedimento depositado %*
1	3,8477	1.53	6,924.60	305.28	1.0
2	3,3501	1.8	6,030.00	211.72	1.2
3	3.81	3.59	13,663.54	383.11	0.7
4	1.09	1.4	1,520.4	*****	0.4
5	11,833	2.1	2,4849.3	*****	1.2
Total			30,627.84	∑	0.9

***** Las lagunas 4 y 5 no presentan flujo superficial

*Fuente: Blair, 1995

3.4 Observaciones de campo

Además de la recolección de muestras y datos de caudal se hicieron observaciones generales sobre el estado de las lagunas y otros factores durante el periodo de muestreo. Esto se hizo para buscar otros parámetros que permitieran evaluar con mayor precisión la situación del sistema y buscar respuesta a algunas de las interrogantes que generó la recolección de datos de campo.

IV. RESULTADOS

4.1 Mediciones de caudal

Las medidas de caudal obtenidos durante la jornada de muestreo se resumen en el Cuadro 4, este cuadro muestra además el promedio y los caudales diarios de entrada para cada uno de los sitios de muestreo.

Cuadro 4. Medidas de caudal del sistema de lagunas de estabilización de la E.A.P.

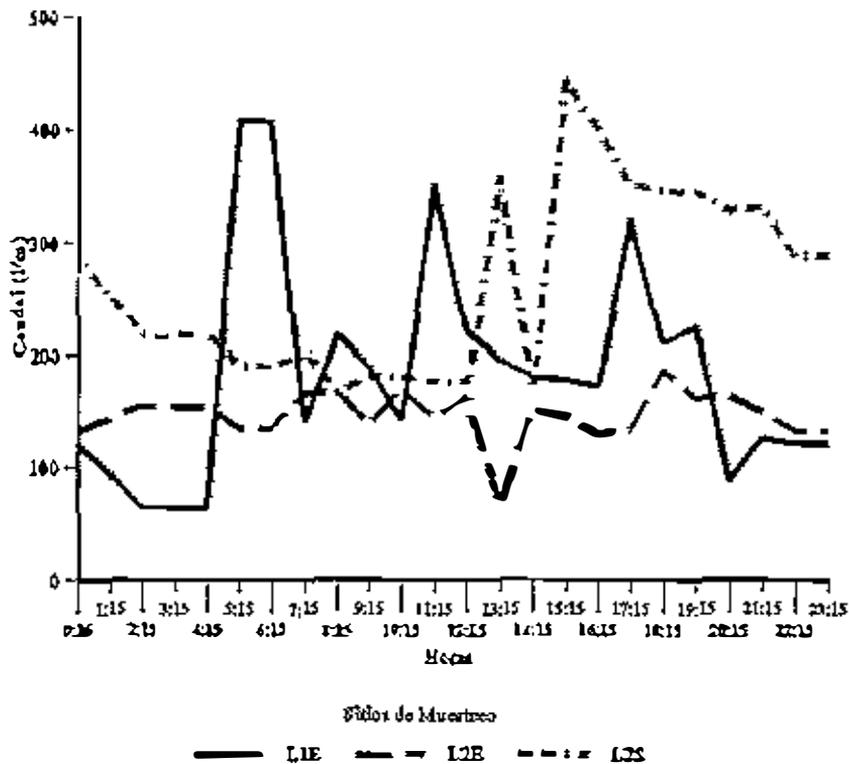
Número de muestra	Lugar de muestreo		
	L1E	L2E	L2S
	Caudal (l/m)		
1	64.80	154.20	219.00
2	407.40	135.00	190.20
3	407.40	135.00	190.20
4	140.40	166.20	203.40
5	219.00	166.20	167.40
6	189.60	138.00	181.80
7	141.60	170.40	180.60
8	352.20	144.00	176.40
9	222.60	163.80	177.00
10	195.00	66.60	358.80
11	180.00	151.20	172.20
12	178.20	142.80	444.60
13	173.40	129.60	400.20
14	391.20	134.40	351.60
15	211.20	187.20	346.20
16	226.20	162.60	345.00
17	88.20	163.80	328.80
18	125.40	149.40	332.40
19	121.20	133.20	289.20
\bar{x}	212.37	147.03	266.05
m ³ /d	305.81	211.72	383.11

L1E: entrada al sistema

L2E: entrada a la segunda laguna = salida de la primera

L2S: salida de la segunda laguna

En la figura 4 se pueden observar las horas pico de consumo de agua en la E.A.P., expresadas en términos de aguas residuales. Estas corresponden a los tres tiempos de alimentación y a las actividades de aseo personal de los estudiantes, es decir, al empezar el día (5:00 am) y después de sus respectivas jornadas de trabajo (10:30 am y 4:00 pm, respectivamente).



Figuro 4. Variaciones de caudal eo los sitios de muestreo de las tres primeras lagunas del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.; 17 de julio de 1995.

4.2 Análisis de laboratorio

Los resultados obtenidos en los análisis se presentan en el cuadro 5. Este cuadro muestra las condiciones actuales del agua en las lagunas muestreadas. Se puede observar que el sistema inició con concentraciones de 282 mg/l y 110,000 NMP/100 ml de DBO y CF respectivamente, mientras que la salida del sistema mostró valores de 90 mg/l de DBO y 210 NMP/100 ml de CF.

Cuadro 5. Resultados de los análisis de agua del sistema de lagunas de estabilización de la Escuela Agrícola Panamericana

Análisis	Muestra					
	L1E	L2E	L2S	L3	L4	L5
ColFecal. (NMP/100ml)	11×10^4	21×10^3	24×10^3	75×10^2	11×10^2	210
DBO ₅ (mg/l)	282	160	125	128	133.4	90

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
 ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA
 APARTADO 83
 TEGUCIGALPA HONDURAS

En la figura 5 se puede observar que en la primera laguna del sistema se dió la mayor remoción de CF del sistema, cuya concentración inicial es 11×10^5 NMP/100 ml, mientras que en la segunda laguna hubo un aumento mínimo (4.76 %) en el la concentración de CF de la muestra. En las lagunas 3, 4 y 5 la reducción continuo hasta alcanzar 210 NMP/100 ml en la salida del sistema, este valor nos permite calcular que la eficiencia actual del sistema, en términos de reducción de remoción de coliformes fecales, es 99.8 %.

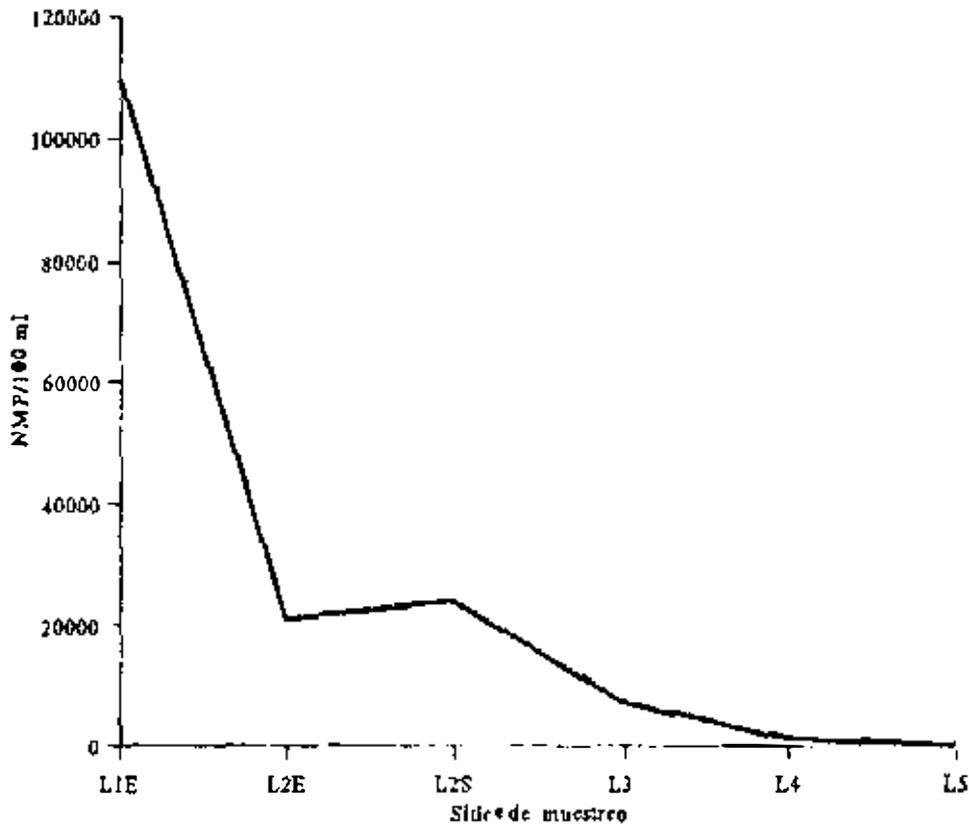


Figura 5. Reducción de coliformes fecales a lo largo del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P

En la figura 6 se puede observar que el agua entró al sistema con una concentración de 282 mg/l de DBO y cs en la laguna 1 donde se da la mayor remoción de DBO. La reducción continúa en las lagunas siguientes hasta alcanzar 90 mg/l de DBO al final del sistema.

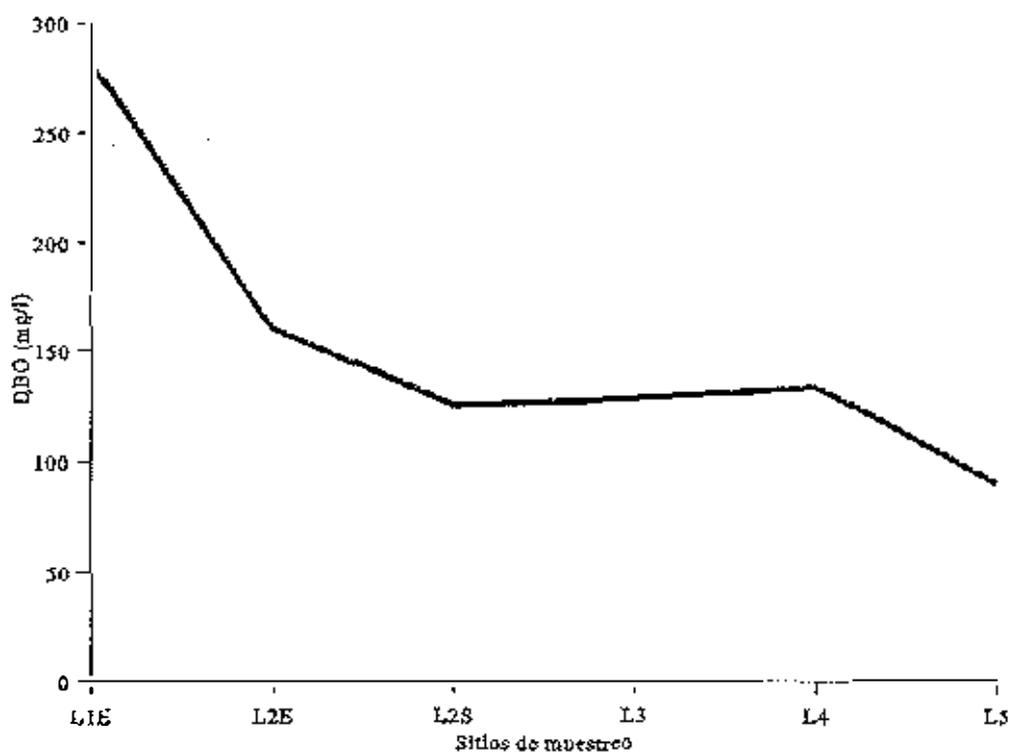


Figura 6. Reducción de DBO a la largo del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.

4.3 Tiempo de retención y eficiencia de remoción de DBO y coliformes fecales

La eficiencia relativa de remoción de DBO y coliformes fecales (CF) se calculó en base a las concentraciones de los influentes y efluentes de cada una de las lagunas y del sistema total.

Para efectos de comparación se analizó el sistema bajo tres condiciones diferentes:

- La primera, tomando los datos de caudal, DBO_5^7 , concentración de CF y dimensiones actuales de cada una de las lagunas del sistema. Con estos datos se obtuvieron la eficiencia de remoción de DBO y CF, el tiempo de retención actual del sistema y de cada una de sus lagunas.
- La segunda, tomando los datos de DBO_5 , caudal, concentración de CF de la entrada del sistema (LIE) y las dimensiones actuales de cada una de las lagunas. Así se obtuvo la eficiencia óptima esperada de remoción de DBO y CF del sistema.
- La tercera, tomando los datos de caudal, DBO_5 y concentración de CF de la entrada del sistema (LIE). En base a estos se calcularon las dimensiones óptimas para el diseño clásico del sistema y se obtuvieron el tiempo de retención y la eficiencia óptima esperada de remoción DBO y CF para este sistema ideal.

En los Cuadros 6, 7, 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos con las tres primeras condiciones de análisis.

⁷ DBO_5 es el valor de DBO obtenido en el laboratorio al incubarse las muestras a 20 °C durante 5 días

Cuadro 6. Cuadro comparativo de tiempo de retención, eficiencia de remoción, concentración de DBO y CF para la laguna 1 del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.

Características	Unidades	Diseño		
		Actual	Ideal Actual	Ideal Teórico
Area	m ²	3,847	3,847	172.178
Profundidad	m	1.53	1.53	2
Volumen	m ³	6,924.6	6,924.6	344.35
Caudal	m ³ /día	305.28	305.28	305.28
Retención	días	22.69	22.69	1.22
Concentración DBO	mg/l	282	282	282
Concentración CF	NMP/100ml	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴
Remoción DBO	%	43	70	50
Remoción CF	%	80.9	97.66	67.5
Concentración DBO (salida)	mg/l	160	84.6	141
Concentración CF (salida)	NMP/100 ml	21000	2,574	3,576

Cuadro 7. Cuadro comparativo de tiempo de retención, eficiencia de remoción, concentración de DBO y CF para la laguna 2 del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.

Características	Unidades	Diseño		
		Actual	Ideal Actual	Ideal Teórico
Area	m ²	3,350	3,350	884.47
Profundidad	m	1.8	1.8	1.2
Volumen	m ³	6,030	6,030	1,061.36
Caudal	m ³ /día	211.72	211.72	305.28
Retención	días	28.48	28.48	3.48
Concentración DBO	mg/l	160	84.6	141
Concentración CF	NMP/100ml	21,000	2,574	35,766
Remoción DBO	%	21.87	92.61	74.7
Remoción CF	%	4.76	99.05	92.76
Concentración DBO (salida)	mg/l	125	6.25	35.67
Concentración CF (salida)	NMP/100 ml	24,000	25	2,590

Cuadro 3 Cuadro comparativo de tiempo de retención, eficiencia de remoción, concentración de DBO y CF para la laguna 3 del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.

Características	Unidades	Diseño		
		Actual	Ideal Actual	Ideal Teórico
Area	m ²	3,806	3,806	210.66
Profundidad	m	3.59	3.59	1.5
Volumen	m ³	13,663.54	13,663.54	316
Caudal	m ³ /día	383.11	383.11	305.28
Retención	días	35.85	35.85	1.04
Concentración DBO	mg/l	125	6.25	35.67
Concentración CF	NMP/100ml	24,000	25	2,590
Remoción DBO	%	-2.04	58.91	74.57
Remoción CF	%	68.75	99.24	79.28
Concentración DBO (s lid)	mg/l	128	2.56	9.07
Concentración CF (salida)	NMP/100 ml	7,500	<1	537

Cuadro 9. Cuadro comparativo de tiempo de retención, eficiencia de remoción, concentración de DBO y CF para las lagunas 4 y 5 del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.

Características	Unidades	Laguna 4		Laguna 5	
		Diseño			
		Actual	Ideal Teórico	Actual	Ideal Teórico
Area	m ²	1,086	210.66	11,833	210.66
Profundidad	m	1.4	1.5	2.1	1.5
Volumen	m ³	1,520.4	315.99	2,489.3	315.99
Caudal	m ³ /día	*****	305.28	*****	305.28
Retención	días	*****	1.03	*****	1.03
Concentración DBO	mg/l	128	9.07	133.4	1.09
Concentración CF	NMP/100ml	7500	537	1100	111
Remoción DBO	%	4.2	87.9	32.53	80.9
Remoción de CF	%	85.33	79.28	80.9	79.28
Concentración DBO (salida)	%	133.4	1.09	90	0.2
Concentración CF (salida)	NMP/100 ml	1,100	111	210	23

***** No presentan caudal superficial de entrada

En la figura 7 se puede observar que la remoción conseguida actualmente por el sistema es mucho menor a la que se podría conseguir si este funcionara de manera óptima, lo mismo ocurre comparando la eficiencia del sistema con la del diseño teórico. El valor esperado a la salida del sistema es menor de 25mg/l de DBO, este no se alcanza actualmente, pero, con el funcionamiento óptimo del sistema actual y con el diseño teórico-clásico del sistema se pueden alcanzar valores de 2.52^{*} y 0.2 mg/l respectivamente.

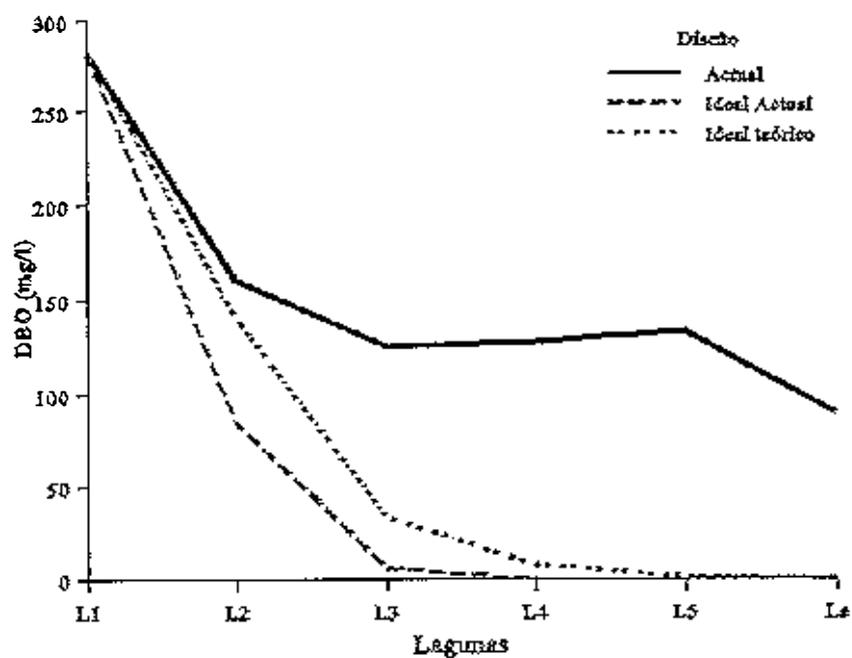


Figura 7. Comparación de la remoción de DBO bajo las tres condiciones evaluativas del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.

* Valor calculado hasta la tercera laguna debido a la falta de influente superficial para las lagunas 4 y 5.

En la figura 8 se puede observar que en los tres casos: actual, ideal actual e ideal teórico la eficiencia en la remoción de CF es muy similar en términos de porcentaje (99.8 %, 99.9998 %⁹, 99.9997%), pero, apesar de esta similitud, la eficiencia actual permite que al final del sistema se encuentren todavía 210 NMP/100 ml mientras que para las comparaciones restantes los valores alcanzados son inferiores a 1⁹ y 23 NMP/100 ml.

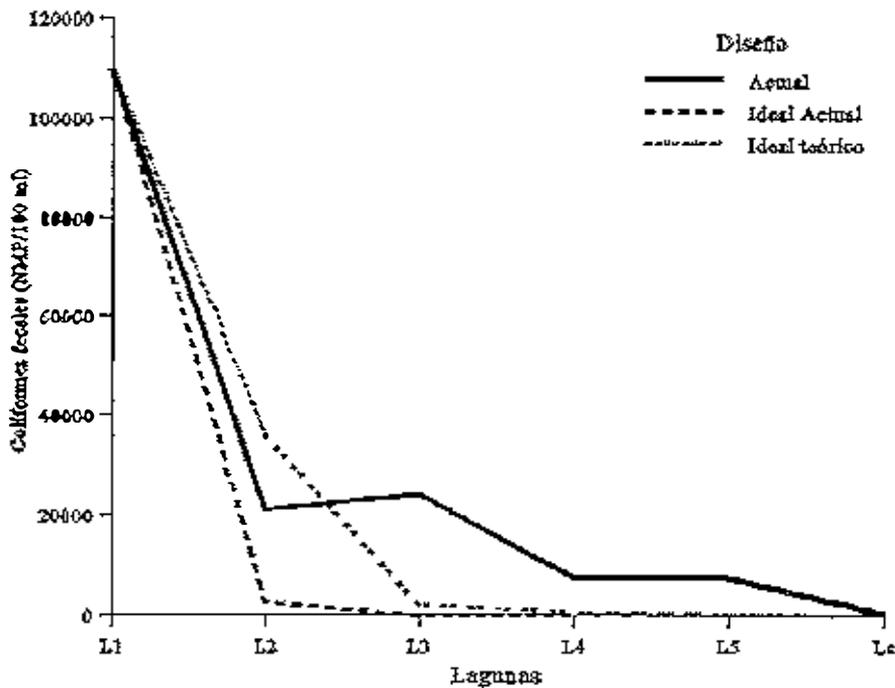


Figura 8. Comparación de la remoción de coliformes fecales bajo las tres condiciones evaluativas del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P.

⁹ Valor calculado hasta la tercera laguna debido a la falta de influente superficial de las lagunas 4 y 5.

4.4 Observaciones de campo

A continuación se presentan las observaciones realizadas durante el día de muestreo (14 julio) en cada una de las lagunas del sistema.

4.4.1 Laguna 1

- El dispositivo que sirve como entrada al sistema se encuentra en muy malas condiciones; el codo de PVC que une los dos tubos que permiten la entrada del agua al aforador está roto.
- Al sistema entran sólidos agregados, es decir que no se han desintegrado en el trayecto que recorren desde su origen hasta llegar a esta laguna; entre estos sólidos tenemos: heces humanas, hojas de lechuga, granos de maíz, frijoles y otros desechos de cocina.
- Directamente en frente de la salida del sistema se puede notar la formación de una pequeña isla de sedimentos.
- Al sistema entran sólidos no degradables, entre estos se pueden mencionar botellas y cubiertos plásticos, toallas sanitarias, preservativos, entre otros.
- Existen, en el dique que separa la primera y la segunda laguna, líneas de bambú a manera de barreras rompevientos. Estas, debido a su mala ubicación, no impiden el efecto que tiene el viento sobre la superficie de la laguna, lo que provoca que las algas que flotan en la superficie de la misma se acumulen hacia la dirección que este las empuja; lo mismo ocurre con la isla de sedimentos mencionada anteriormente. Esta isla se desintegra por efectos del viento y sus fragmentos viajan a través de la

laguna alcanzando, en muchas ocasiones, la salida de la laguna sin haber sufrido mayores transformaciones.

- El dispositivo de descarga de esta laguna se encuentra frecuentemente obstruido por materiales gruesos, tanto vegetales como objetos plásticos y otros.
- A las 4:15 y 22:15 h del día de muestreo, cuando no hay mayor actividad en el campus, se pudieron observar flujos continuos de agua, aparentemente de buena calidad, que llegaba a la laguna con un caudal superior a los 60 l/min. Esto, sumado a observaciones anteriores, hace pensar en una posible fuga en el sistema o en la existencia de válvulas abiertas durante la noche en el sistema de abastecimiento de agua del campus central.
- La laguna mostraba una marcada separación en la calidad de sus aguas, por lo cual se pudo dividir la misma en dos secciones según las características que presentaban cada una de ellas.
 - La primera ocupaba aproximadamente el 30% del área total de la laguna, ubicada cerca de la entrada del sistema; en ella se pudieron notar las características de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica como son: el mal olor provocado por una alta producción de ácido sulfídrico, el color negro del cual toman su nombre las aguas de desecho, las burbujas características de la producción de metano y una ausencia casi completa de vida en las mismas. Además de esto, se observó la presencia de zopilotes cabeza negra (*Coragyps atratus*) desde las 5:00 hrs hasta las 18:00 en cantidades que variaron entre 15 y 200 individuos a lo largo del día.

- La segunda sección, que ocupaba el 70% restante de la laguna, mostraba actividad aeróbica evidenciada por el color verde producto de la presencia de algas, un olor característico de la descomposición aeróbica de la materia orgánica, además de garzas en busca de alimento y gran cantidad de tortugas. Los zopilotes también ocupaban parte de las orillas que corresponden a esta sección.
- La presencia de un aereador eólico da indicios de que se hicieron esfuerzos para mejorar la eficiencia del sistema y que la laguna no fue construida como una laguna anaeróbica; este aereador se encuentra completamente inservible y no muestra signos de haber sido sometido a mantenimiento.
- Perros domésticos entran libremente al sistema y se meten al agua persiguiendo a los zopilotes.

4.4.2 Laguna 2

- Esta laguna presenta características muy superiores, en términos de calidad de agua, que la anterior; entre estas características se puede destacar la abundancia de vida acuática (peces, tortugas y aves acuáticas), aunque en la mañana del día de muestreo se observaron peces muertos en la superficie de la laguna. Esto indica un posible estado de anoxia durante las horas de oscuridad.
- La presencia de garzas era mucho mayor que en la laguna 1 y estas estuvieron presentes, al igual que los zopilotes en la laguna anterior, durante las horas del día de muestreo.

- El agua entraba a la laguna de un color verde oscuro y salía de la misma de un color que variaba de verde muy claro a casi cristalina, el rango de colores se dio a lo largo del día de muestreo.
- El olor despedido de la laguna era el característico de la descomposición aeróbica de la materia orgánica.
- Cabe destacar la presencia de espuma y el fuerte olor del agua en la entrada de la laguna.
- La estructura de entrada a esta laguna se encuentra en buenas condiciones, lo que no ocurre con la estructura de salida, la cual se encuentra en pésimas condiciones. La maleza presente en el lugar dificultó las mediciones de caudal.

4.4.3 Laguna 3

- Esta laguna no presenta mejoras apreciables en la calidad de sus aguas.
- Recibe el influente de la segunda laguna, pero no tiene un efluente superficial medible.
- El nivel del agua está aproximadamente 1.5 m por debajo del nivel máximo.
- Aquí tampoco se encontraron evidencias de un mantenimiento constante.
- Igual que en las lagunas anteriores, el único trabajo de mantenimiento realizado es el chapeado de la maleza en los diques de la misma.
- No se observó actividad de la fauna acuática.

4.4.4 Laguna 4

- Esta laguna no presenta un influente superficial medible.
- El nivel de las aguas está aproximadamente 2 m por debajo del nivel máximo.
- La presencia de peces en esta laguna se conoce solamente por referencias de trabajadores de la E.A.P.
- En esta laguna existe una torre de concreto que cumple la función de una estructura de salida, en esta torre se pudieron observar las marcas de los niveles de agua, en las cuales se nota que ya son varias las temporadas en las que la laguna no alcanza su nivel máximo.

4.4.5 Laguna 5

- Esta es la laguna más grande del sistema, al igual que las dos anteriores se encuentra por debajo de su nivel máximo, 1.5 m aproximadamente.
- Al igual que la anterior no recibe ningún tipo de influente superficial permanente de su laguna vecina.
- En la Zona II, Departamento de Horticultura, y en Colindres, Departamento de Agronomía, existen canales de drenaje, los que se conectan a la quebrada y pueden contribuir con cantidades significativas de agua al sistema durante la época de lluvias o cuando existen actividades de riego por gravedad en las áreas antes mencionadas.
- En ella se desarrollaban actividades acuícolas de producción al momento de tomar las muestras.

- Se observó una gran población de lirio acuático (*Eichornia crassipes*) tanto en la entrada como en la salida de la misma. Se sabe que el lirio acuático contribuye a la purificación de las aguas.
- Debido a su bajo nivel, la laguna no tiene un efluente.
- El agua no presentaba olores desagradables y era de un color verde bastante claro.
- Durante las horas de la tarde del día de muestreo se pudo observar la presencia de búfalos refrescándose en las aguas de esta última laguna. Esto podría afectar las concentraciones de coliformes fecales en las muestras recolectadas en ésta.

V. DISCUSION

5.1 Mediciones de caudal:

El caudal medido en la entrada del sistema de lagunas de oxidación (Cuadro 4) mostró aumentos significativos a las horas pico de consumo de agua en el campus central de la E.A.P. (Figura 3). Estas horas son: de 4:00 a 7:00, de 10:00 a 12:00 y de 16:00 a 19:00 y corresponden a los periodos de actividad del comedor estudiantil durante los tres tiempos de alimentación y sus respectivas actividades de limpieza, rutinas de aseo personal de los estudiantes al levantarse y luego de sus respectivas actividades de trabajo (baños de ducha). Es en estas horas pico cuando, además del mayor consumo de agua, se espera la mayor concentración de desechos orgánicos en la misma.

En los datos obtenidos durante el día de muestreo se puede observar que el caudal promedio de entrada de la laguna 1 fue superior al de entrada de la laguna 2, pero durante las primeras horas del día y las últimas de la noche el caudal de salida de la laguna 1 fue superior al de entrada ($654 \text{ m}^3/\text{día}$) (Figura 4). En la laguna 2 se pudo observar que durante todo el día de muestreo el caudal de salida fue muy superior al de entrada. Con estas observaciones se puede deducir que existe un contribuyente de agua ajeno al sistema. Como no llovió durante el día en cuestión las únicas posibilidades son:

- Que el sistema, por estar construido sobre una quebrada, intercepte el nivel freático del valle y que éste sea el contribuyente no deseado.
- Que exista una exfiltración de la laguna 1 a la 2 a través del dique que las separa.
- Que ambos procesos ocurran simultáneamente para aumentar el volumen diario de entrada de la laguna 2.

Este flujo de agua extraña al sistema altera los procesos físicos y biológicos que se dan en las lagunas de oxidación para la purificación de las aguas, además de que evidencian la permeabilidad del mismo, lo que implica una posible contaminación del agua subterránea, que, en el caso del valle del Zamorano, es uno de los principales contribuyentes para que el río Yeguaré mantenga agua en su cauce todo el año.

5.2 Eficiencia de remoción de DBO y CF:

Los análisis de laboratorio (Cuadro 5) nos indican que el agua ingresa al sistema con una DBO de 282 mg/l, lo que según Dunne y Leopold (1978) está dentro del rango esperado de 100-300 mg/l para un efluente de aguas negras domésticas sin tratamiento de zonas urbanas. Además permiten observar el comportamiento de la remoción de DBO y coliformes fecales (Figuras 3 y 4). Este comportamiento de remoción permite que el efluente del sistema tenga concentraciones de DBO de 90 mg/l y de CF de 210 NMP/100 ml lo que indica una eficiencia de remoción del 68.8 % y 99.800 % para DBO y CF respectivamente. Según Mara (1976) la eficiencia esperada para un sistema clásico de lagunas de oxidación debe ser mayor al 90% para DBO y superior a 99.9995 % para coliformes fecales.

Si comparamos la eficiencia del sistema actual con la eficiencia ideal esperada del mismo y la eficiencia teórica de un sistema ideal (Cuadros 6, 7, 8 y 9), se observa que en ambos casos la eficiencia actual del sistema es inferior a los óptimos esperados, siendo que el óptimo actual esperado es 99.88 %¹⁰ de remoción de DBO, 99.9998 %¹⁰ para los CF y el

¹⁰Valor calculado hasta la tercera laguna debido a la ausencia de influente superficial para las lagunas 4 y 5.

óptimo teórico de un sistema clásico es 99.37 %¹¹ de remoción de DBO y 99.9997 % de remoción de CF.

Asumiendo que las formulas utilizadas para calcular las eficiencias de remoción, tanto de DBO como de CF son apropiadas para las condiciones geográfico/climáticas del valle del Zamorano, la causa más lógica de esta baja eficiencia es que el diseño actual del sistema no se ajusta a las normas establecidas.

El influente puede clasificarse como mediano/fuerte (Mara, 1976) según los datos de laboratorio, los obtenidos por Blair (1995) y los obtenidos en un muestreo preliminar (marzo de 1995), los cuales indican valores superiores a los 500 mg/l de DBO. Por lo tanto, con la concentración actual de DBO de 282 mg/l del influente es necesario incluir una laguna anaeróbica en el sistema cuyo volumen se debe determinar en función del tiempo de retención requerido por la carga de DBO del influente.

En el caso del sistema actual, la primera laguna no fue diseñada como laguna anaeróbica ya que tiene un volumen de 6,925 m³ cuando éste debería de ser 344.4 m³, una profundidad de 1.53 m, inferior a los 2.00 m recomendados, y un área de 3,847 m² en vez de los 177.18 m² que debería tener. Además del diseño, la presencia del aereador eólico indica que fue diseñada para trabajar más como laguna facultativa que como una laguna anaeróbica. Pero por las características actuales del efluente, este diseño presenta algunas debilidades:

- El área excesiva de la laguna permite que se divida en dos secciones: la primera con características anaeróbicas y la segunda con características aeróbicas/anaeróbicas.

¹¹Valor calculado hasta la tercera laguna debido a la falta de influente superficial para las lagunas 4 y 5.

- Esta doble característica sumada a la poca profundidad de la misma, al largo tiempo de retención y a la alta concentración de nutrientes del agua, provoca una mezcla ineficiente del agua con la materia orgánica que entra a la laguna, además de la alta producción de algas. Estas algas al morir pasa a formar parte de la materia orgánica que demanda oxígeno para descomponerse, esto inevitablemente aumenta la DBO del efluente y provoca que la reducción esperada no se alcance.
- La falta de barreras rompeviento efectivas. Actualmente, parte de la materia orgánica que traen las aguas negras al ingresar a la laguna se acumula en la superficie, a aproximadamente dos metros del tubo de entrada esta acumulación manifiesta como una verdadera isla de materia orgánica. Gracias a la acción del viento estas islas se rompen y sus fragmentos son empujados hacia la salida de la laguna sin sufrir mayores alteraciones en el proceso, permitiendo así el paso de bacterias fecales a la siguiente laguna.

La segunda laguna experimenta las mismas deficiencias de diseño que la laguna anterior. Tiene un área de 3,350 m² y una profundidad de 1.8 m cuando según las fórmulas clásicas deberían ser de 884.5 m² y 1.5 m respectivamente. Debido a que el tiempo de retención (29 días) es mayor que el de la laguna 1 (23 días), esta laguna tiene, aparentemente, una mayor producción de algas que la anterior, esto se puede observar en el color verde oscuro de sus aguas y en la mortalidad de peces, presumiblemente por anoxia provocada por el metabolismo de las algas durante las horas de oscuridad. La fertilidad de estas aguas se debe, probablemente, a la alta concentración de nutrientes (N y P) que provee el jabón de

las aguas negras, cuya presencia se evidencia en la espuma observable y en la viscosidad del agua en la entrada de esta laguna.

La tercera laguna no fue diseñada como parte del sistema de lagunas de oxidación, sino como un reservorio de agua para riego, por lo tanto los problemas con el diseño son evidentes. Lo mismo ocurre con las lagunas 4 y 5; las que, a pesar de no ser lagunas de oxidación, por la naturaleza del sistema actual deberían cumplir con la función de lagunas de maduración y remover la DBO hasta niveles menores a 25 mg/l y los coliformes fecales en 99.9995%. Sin embargo, al final del sistema se encuentran concentraciones de 90 mg/l de DBO y 210 CF/100 ml, que representan una remoción de 68.8 % para DBO y 99.8 % para CF.

La baja eficiencia en la remoción de DBO, al igual que en las demás lagunas, puede ser producto del largo tiempo que éstas retienen sus aguas; esto provoca un alto crecimiento de las algas, las mismas que al morir contribuyen a aumentar la DBO del efluente.

Los altos valores de CF pueden deberse a la contaminación que sufren las aguas cuando personas y animales defecan en sus orillas o dentro del cuerpo de agua.

Además de los problemas mencionados, el crecimiento de la maleza a orillas de las lagunas 2, 3, 4 y 5 las ha convertido en lugares idóneos para el desarrollo de zancudos y otros vectores de enfermedades. Todo esto producto de la falta de mantenimiento.

Como último punto de discusión se propone la idea de que el sistema trabaje en base a un canal activo; es decir que: debido a que el sistema fue construido sobre una quebrada y las lagunas conservan sus características (Blair, 1995) y que por lo tanto solamente se mueve el volumen de agua que sigue el patrón de la quebrada, mientras que el volumen que

queda en los márgenes no lo hace. Este patrón de comportamiento del agua dentro del sistema acortaría significativamente los tiempos de retención y podría ser otra de las posibles explicaciones de las bajas eficiencias de remoción actuales de coliformes fecales comparadas con la remoción ideal del sistema actual y con el ideal teórico de las mismas.

VI. CONCLUSIONES

- Basado en los valores de DBO obtenidos en este estudio, de un muestreo preliminar (marzo 1995) y de los datos presentados por Blair (1995), se puede concluir que las aguas negras que el campus central deposita en su sistema de lagunas de oxidación entran en la clasificación de mediano/alto (Mara, 1976). Por lo tanto, este sistema de tratamiento de aguas negras necesita una laguna anaeróbica pequeña al inicio del sistema (Cairncross y Feachem, 1983).
- De la recolección de información histórica sobre la construcción del sistema, se concluye que solamente la primera y la segunda laguna fueron construidas pensando en el tratamiento de aguas negras, las tres lagunas restantes se construyeron y se han utilizado como reservorios de agua para riego.
- Dadas las condiciones microbiológicas actuales del agua en estas lagunas, se concluye que el riego con sus aguas es un peligro potencial para la salud de alumnos y empleados que trabajan en esta actividad y que el peligro no se da solamente cuando el individuo se empapa o ingiere el agua contaminada, sino también por la inhalación y contacto con las partículas de agua que quedan suspendidas en el aire producto del riego por aspersión.
- Basado en las observaciones de campo (sección 5.2.3) y la literatura revisada (sección 2.5.3) se concluye que debido a las características físicas y los procesos

biológicos que en ella se desarrollan, la primera laguna del sistema de lagunas de oxidación de la E.A.P. no es una laguna exclusivamente anaeróbica, sino un híbrido entre anaeróbica y facultativa (sección 5.3.1).

- Por el largo tiempo de retención que presenta (Cuadro 4), se concluye que la segunda laguna puede considerarse como un híbrido entre laguna facultativa y de maduración; además de presentar un ingreso de agua subterránea el cual contribuye a la dilución de las concentraciones de DBO y CF que vienen de la laguna anterior, lo que indica que los procesos de degradación biológica en realidad son menos eficientes y tienen valores reales más elevados que los obtenidos en los análisis de laboratorio.
- La tercera, cuarta y quinta laguna cumplen una importante función purificadora como parte del sistema a pesar de no haber sido diseñadas y construidas con ese propósito. Estas lagunas no presentan ni influente ni efluente superficial durante la temporada seca a pesar de lo cual presentan un nivel constante de agua, por lo tanto se concluye que la capa freática intercepta en este punto el nivel de la quebrada y en la época es el único contribuyente de esta sección del sistema. Además de ser los cuerpos receptores de las aguas de drenaje y escorrentía superficial de las áreas de producción Zona II y Colindres (Figura 3).

- El sistema de lagunas de oxidación recibe un mantenimiento deficiente tanto en la limpieza de sus diques como en el cuidado de las entradas y salidas y la conservación de las características físicas de cada una de las lagunas. Este mantenimiento deficiente permite el crecimiento de maleza alrededor y a orillas de las lagunas, las que se convierten en criaderos potenciales de mosquitos y otros vectores de enfermedades.
- La eficiencia actual del sistema es de 68.8 % para la remoción de DBO y 99.8 % para la remoción de CF. Estas eficiencias no se ajustan a los estándares establecidos de 90 % ó más y 99.995 % para las remociones de DBO y CF respectivamente. Esto se puede deber, además de las razones explicadas con anterioridad, a la influencia de factores externos como la entrada de búfalos a la laguna y la escorrentía superficial de zonas de producción agrícola intensiva. Por lo tanto se concluye que efluente del sistema no es apto para ser desacragado en cuerpos de agua de uso posterior (McJunkin, 1988), como el río Yeguaré, ni para el riego de cultivos para consumo humano (Esparza, 1990), si no se quiere poner en riesgo la salud de la gente que entra en contacto directo con el agua aún contaminada.
- En base a las conclusiones anteriormente expuestas y los resultados obtenidos para la eficiencia óptima actual y la eficiencia teórica (Cuadros 6, 7, 8 y 9), se concluye que el sistema debe ser modificado buscando mejorar su eficiencia actual.

VII. RECOMENDACIONES

- Construir una laguna anaeróbica. Para lo cual, aprovechando la infraestructura actual, se recomienda dividir la primera laguna en dos lagunas más pequeñas, una anaeróbica ($172 \text{ m}^2 \times 2.00 \text{ m}$), y otra facultativa ($282 \text{ m}^2 \times 1.2 \text{ m}$), construídas con las dimensiones calculadas con las formulas teóricas, en base a la asunción de que la carga de DBO con la que las aguas negras entran al sistema (282 mg/l) refleja las condiciones típicas de las mismas.
- Se deben redimensionar las lagunas, dándoles una forma poliédrica regular. La forma regular permitiría que el flujo y la homogeneización del agua en las lagunas fuera uniforme, evitando así el mencionado efecto del caudal activo. Otra opción que se recomienda es poner pequeños diques, a manera de eses, dentro de las lagunas; estos diques aumentan el movimiento del agua y facilitan la mezcla de la misma.
- El sistema debe ser impermeabilizado, para lo cual se puede utilizar arcilla u otros materiales sintéticos aislantes que actualmente se encuentran disponibles en el mercado (Serrano, 1994). Esto se debe hacer tanto para evitar el ingreso de agua al sistema por exfiltración del nivel freático, infiltración y exfiltración entre lagunas vecinas o ambos y además prevenir la contaminación del agua subterránea.

- Cerrar el perímetro del sistema con malla ciclón para evitar el ingreso de animales domésticos que pueden ser vectores de enfermedades y personas que puedan depositar heces a orillas de las lagunas o entrar en contacto con el agua de las mismas. Esta medida debe tomarse de inmediato por lo menos con la primera laguna que es la que representa el mayor peligro de contaminación.
- Para futuras investigaciones sobre el funcionamiento del sistema, se recomienda enfocar las mismas a la caracterización de la calidad de las aguas negras producidas por el campus central de la E.A.P en términos de DBO y concentración de coliformes fecales. Para conseguirlo se recomienda desarrollar un plan de monitoreo de la calidad de estas aguas a lo largo del período de retención estimado del sistema que es de 90 días. Para poner en práctica este plan de monitoreo se recomienda solicitar la participación de las Gerencias de Servicios y Producción, que son las secciones de la institución llamadas a tomar cartas en este asunto. Un esfuerzo conjunto de tal magnitud redundaría en beneficios al bienestar de toda la comunidad zamorana.
- Se recomienda realizar investigaciones para determinar en qué proporción los zopilotes (*Coragyps atratus*) contribuyen a la remoción de la materia orgánica en la primera laguna del sistema y poder evaluar así lo conveniente o no de permitir su acceso al mismo; tomando en cuenta que por referencias (Miniproyecto control de zopilotes y garzas, 1995) se conoce que actualmente la sobrepoblación de zopilotes

en el valle del Zamorano es un problema y que existe una estrecha relación entre este y el acceso que tienen los zopilotes a la primera laguna, dado que esta es una fuente constante de alimento. Y además de lo expuesto anteriormente, conociendo el peligro que representa para la salud de la población zamorana el libre tránsito de estos animales por todas las instalaciones del Zamorano.

- Además del rediseño y reconstrucción del sistema actual, se recomienda probar alternativas que utilizan pantanos o humedales para la purificación. Estos sistemas se basan en el papel pasivo de la sedimentación y en la absorción de los contaminantes del agua por parte de la biomasa (GATE, 1995; TR&D, 1995; CERES, 1995).
- Se recomienda no utilizar el agua de las lagunas 3 y 4 para el riego, esta actividad pone en peligro la salud de la comunidad zamorana ya que, con las concentraciones actuales de CF (7,500 y 1,100 NMP/100 ml) y que el tipo de riego que se utiliza comúnmente (riego por aspersión) aumentan la posibilidad de entrar en contacto con las partículas de agua suspendidas en el aire.
- No permitir la entrada de los búfalos a la laguna 5, ya que estos son una fuente real de contaminación biológica para el agua de riego.

- Se recomienda de manera especial contactar al Dr. Joshua Dickinson, presidente de Tropical Research and Development, ya que en su conferencia dictada en mayo de 1995, 'Tratamiento de Aguas Negras en Humedales, mostró un interés especial en trabajar con la E.A.P. para establecer un sistema demostrativo de humedales para Centroamérica. Este sistema podría ser establecido en lugar del actual sistema de lagunas o como parte del mismo aprovechando la intercepción del nivel freático con la quebrada, lo que mantiene un nivel regular de agua durante todo el año (lagunas 3, 4 y 5) (Figura 3). Esta cooperación puede traer beneficios tanto económicos como científicos para el Zamorano.
- Se recomienda el desarrollo y establecimiento de un plan de monitoreo de la calidad microbiológica del agua para riego que sale del sistema de lagunas de oxidación. Al mismo tiempo se debe desarrollar un plan de educación sanitaria dirigido a todas las personas que de una u otra forma tienen contacto con el agua que circula por este sistema.
- Se recomienda colocar rejillas en los desagües de las duchas y lavaderos, colocar basureros en los baños y realizar actividades de información y educación al personal y los estudiantes que hacen uso de estos servicios en el campus central de la E.A.P.; todas estas actividades encaminadas a evitar la entrada de sólidos no biodegradables al sistema de lagunas.

VIII. BIBIOCRAFIA

- ARLOSOROFF, S. 1987. Waste-water reuse for irrigation and agriculture. En: Proceedings of the interregional seminar on non-conventional water resources use in developing countries, 22-28 April 1985, Series No. 22, pp. 214-244. United Nations, New York.
- BLAIR, M.A. 1995. Ampliaciones y mejoras del sistema de recolección y depuración de aguas residuales en la E.A.P.. Diseño final de obras. E.A.P. 107p.
- CAIRNCROSS, S. FEACHEM, R.G. 1983. Environmental health engineering in the tropics. Wiley & Sons, Great Britain. 283p.
- CHAPMAN D. (Ed.) 1992. Water quality assessments; A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. First edition. Chapman and Hall. London, England. 585p.
- CERES. 1995. Método innovativo para purificar aguas residuales. mayo-junio. No.153. FAO, Roma. p. 6.
- CUBILLOS, A. 1982. Criterios para dimensionar lagunas de estabilización. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, Ambiente y Recursos Naturales Renovables AR-9. 86p.
- CUBILLOS, A. 1985. Lagunas de estabilización. 3^a ed. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Ambiente y Recursos Naturales Renovables AR-15. 43p.
- DEPARTAMENTO de salud del estado de New York. 1990. Manual de tratamiento de aguas negras. Limusa. México. 304p.
- DUNNE, T.; LEOPOLD, L. 1978. Water in environmental planning. Freeman and Company. U.S.A. 818 p.
- ESPARZA, M.L. 1990. Evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas Residuales en agricultura; aspectos microbiológicos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente (CEPIS), OPS, Lima, Perú. 29 p.
- FAIR, G.M.; GEYER, J.C.; OKUN, D.A. 1989. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Tomo II. Limusa. México. 746 p.

- FEACHEM, R.; BRADLEY, D.; GARELICK, H.; MARA, D. 1983. Sanitation and disease; health aspects of excreta and wastewater management. Washington, D.C. World Bank. Studies in Water Supply and Sanitation, 3.
- FUENTES, M.A. 1995. Evaluación de la calidad de aguas residuales de la agroindustria pecuaria de Zamorano. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras, EAP. 175 p.
- GARCIA, B. 1993. Potencial hídrico de la micro cuenca de la quebrada Santa Inés. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras, EAP. 95p.
- GATE. 1995. Using root-zone wastewater treatment plants. Success achieved with a pilot plant in Berlin. p.21-24. Marzo de 1995. GTZ. Frankfurt, Germany.
- MANEJO de zopilotes y gusanos. 1995. Miniproyecto. Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras
- MARA, D.D. 1976. Sewage treatment in hot climates. Wiley & Sons. London. p.68-93.
- MARA, D.D. 1977. Water, wastes and health in hot climates. Wiley & Sons. London. p.265-283.
- MCUNKIN, F.E. 1988. Agua y salud humana. O.P.S.. Limusa, México. 231p.
- PESCOD, M.B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO. Roma. 125p.
- REIFF, F. 1990. The impact of agricultural and industrial development on the water quality in Latin America and the Caribbean. Proceedings of a Technical Session of the American Society of Civil Engineers at the National Convention in 1990. ASCE, New York.
- REIFF, F. 1992. Impactos sobre la salud relacionadas con la agricultura de riego en América Latina. Investigación sobre salud ambiental, desarrollo de tecnologías apropiadas, preparación ante desastres, cólera y enfermedades contagiosas. O.P.S. Washington D.C. Estados Unidos.
- SANAA, 1992. Los servicios de agua y saneamiento en Honduras: Necesidades de cobertura y de inversión para la década. SANAA, UNICEF. 29 p.
- SHUVAL, H.I. et al. 1986. Waste-water irrigation in developing countries: health effects and technical solutions. World Bank Technical Document 51. Washington D.C.

- TEBBUTT, T.H.Y. 1992. Principles of water quality control. Fourth Ed. Pergamon Press. 251p.
- TR&D Inc. 1995. Tratamiento de aguas negras en humedales. Folleto comercial. Joshua Dickinson, Ph. D. Vicepresidente ejecutivo. 8p.
- TURK, A.; TURK, J.; WITTES, J. 1973. Ecología, contaminación, medio ambiente. Interamericana. México. 227p.
- WORLD Health Organization. 1973. Reuse of effluents. Methods for wastewater treatment and health safeguards. WHO Technical Report. Series No. 517. Geneva: World Health Organization.
- WORLD Health Organization. 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. WHO Technical Report. Series No. 773. Geneva: World Health Organization.

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESQUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 99
TEGUCIGALPA HONDURAS

IX. ANEXOS

Anexo 2. Guía de calidad microbiológica de aguas negras para uso agrícola.

Categoría	Nuevo uso	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales (x aritmético del número de huevos por litro)	Coliformes fecales (x geométrico del número por cada 100 ml)	Tratamiento de aguas residuales recomendado para alcanzar la calidad microbiológica requerida.
A	Riego de cultivos de consumo fresco, canchas deportivas, parques públicos	Trabajadores, consumidores, público	< 1	< 1,000	Serie de pilas de estabilización diseñadas
B	Riego de cereales, cultivos industriales, árboles, pasturas y cultivos forrajeros.	Trabajadores	< 1	No existen estándares recomendados	Retención de 8 a 10 días en lagunas de estabilización o una remoción equivalente de helmintos y coliformes
C	Riego localizado	Ninguno	No aplicable	No aplicable	Pretratamiento requerido para el riego, no menor a una sedimentación primaria

Fuente: WHO, 1989

Anexo 3. Posibles niveles de patógenos en aguas servidas

Tipo de patógeno		Posible concentración por litro en aguas residuales municipales
Virus:	<i>Enterovirus</i>	5000
Bacterias:	<i>Escherichia coli</i>	?
	<i>Salmonella spp.</i>	7000
	<i>Shigella spp.</i>	7000
	<i>Vibrio cholerae</i>	1000
Protozoa:	<i>Entamoeba histolytica</i>	4500
Helmintos:	<i>Ascaris lumbricoides</i>	600
	<i>Schistosoma mansoni</i>	1
	<i>Angiostoma duodenale</i>	32
	<i>Necator americanus</i>	
	<i>Taenia saginata</i>	10
	<i>Trichuris trichuria</i>	20

Fuente: Feachem et al., 1983

Anexo 4. Supervivencia de patógenos excretados (20-30 °C)

Tipo de patógeno	Supervivencia en días			
	En heces, abono y lodos	En agua fresca y aguas negras	En el suelo	En los cultivos
Virus <i>Enterovirus</i>	<100(<20)	<120(<50)	<100(<20)	<60(<15)
Bacterias				
Coliformes fecales	<90(<50)	<60(<30)	<70(<20)	<30(<15)
<i>Salmonella spp.</i>	<60(<30)	<60(<30)	<70(<20)	<30(<15)
<i>Shigella spp.</i>	<30(<10)	<30(<10)		<10(<5)
<i>Vibrio cholerae</i>	<30(<5)	<30(<10)	<20(<10)	<5(<2)
Protozoa				
<i>Entamoeba histolytica</i>	<30(<15)	<30(<15)	<20(<10)	<10(<2)
Helmintos				
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	meses	meses	meses	<60(<30)

Fuente: Feachem et al., 1983

Los valores en paréntesis corresponden a 30 °C.

Anexo 5. Reporte de análisis de Laboratorios MQ, Tegucigalpa.



Laboratorio de Análisis Industrial, S. de R. L.
MQ

AVENIDA JUAN LINCOLN, Nº 219, COLONIA PALMIRA
APARTADO POSTAL Nº 1106 TELÉFAX (504) 36-5954
TEGUCIGALPA, HONDURAS

Tipo de Muestra: Agua de Lagunas Nº de Muestras: 6
 Procedencia: Escuela Agrícola Panamericana
 Entregada por: Juan Borja Teléfono: _____
 Fecha de Recibo: 14-7-95 Fecha de Entrega: 20-7-95
 Tipo de envase: Plástico

ANALISIS	RESULTADO	VALOR NORMAL
1.1-E:		
DBO 5	282 mg/l	
NMP Coliformes Fecales	$11 \times 10^3 / 100 \text{ ml}$	
1.2-E:		
DBO-5	160 mg/l	
NMP Coliformes Fecales	$21 \times 10^3 / 100 \text{ ml}$	
1.2-S		
DBO5	125 mg/l	
NMP Coliformes Fecales	$24 \times 10^3 / 100 \text{ ml}$	
1.3		
DBO5	128 mg/l	
NMP Coliformes Fecales	$75 \times 10^3 / 100 \text{ ml}$	
1.4		
DBO5	133.4 mg/l	
NMP Coliformes fecales	$11 \times 10^2 / 100 \text{ ml}$	
1.5:		
DBO5	90 mg/l	
NMP Coliformes fecales	210 / 100 ml	

Formato L-004 9-88 - T-1786a - Ed. 10/97

Observaciones: _____

LIC. PATRICIA VILLAFRANCA
ROSSNER
Módulo de Química Clínica

ING. MIRTHA L. VILLAFRANCA
Ingeniería Química Industrial

