

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**“DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA RESIDUAL DE ESTANZUELA, ZACAPA”**

INFORME DE TESIS

Presentado por:

Flor de María Urzúa Navas

Para optar al título de

Química Bióloga

Guatemala, octubre del 2008

INDICE

I.	RESUMEN	3 - 4
II.	INTRODUCCION	5 - 6
III.	ANTECEDENTES	
A.	Generalidades	7 - 16
B.	Parámetros de contaminación y de purificación de las aguas residuales	16 - 19
C.	Importancia del tratamiento de las aguas residuales	19 - 22
D.	Descripción general del Municipio de Estanzuela	22 - 23
E.	Planta de tratamiento de Estanzuela	23 - 25
F.	Uso de Aguas Residuales según el acuerdo Gubernativo 66-2005	25 - 26
IV.	JUSTIFICACIÓN	27
V.	OBJETIVOS	28
VI.	HIPOTESIS	29
VII.	MATERIALES Y METODOS	30 - 37
VIII.	RECURSOS ECONOMICOS E INSTITUCIONALES	38
IX.	RESULTADOS	38 - 56
X.	DISUSION DE RESULTADOS	57 - 60
XI.	CONCLUSIONES	61
XII.	RECOMENDACIONES	62
XIII.	REFERENCIAS	63 - 66
XIV.	ANEXOS	67 - 77

I. RESUMEN

El agua que se utiliza en las distintas actividades humanas sufre modificaciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón, el agua procedente de los distintos procesos y actividades domésticas, industriales y agrícolas, etc., son denominadas aguas residuales y su descarga a los cuerpos de agua puede ser perjudicial para las personas, para los mismos cuerpos de agua y para las distintas formas de vida. Por lo anterior es importante remover sustancias contaminantes de las aguas residuales antes de que las mismas sean reutilizadas o descargadas a los cuerpos de agua, superficiales, subterráneos y costeros. La remoción de las sustancias contaminantes se realiza según niveles que deben responder, de acuerdo a normas específicas de cada país y a los usos que se hace de los cuerpos de agua.

En el presente estudio se realizó la cuantificación de coliformes totales, fecales y *E. coli* y se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) de muestras de agua del afluente y efluente de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Estanzuela, Zacapa”, con el fin de determinar la eficacia del tratamiento de aguas residuales en dicha planta. Se realizaron 5 muestreos del afluente y 5 muestreos del efluente en época de lluvia y otro en época seca, para análisis microbiológico y análisis fisicoquímico. Al final se recolectaron un total de 20 muestras. El análisis de coliformes se llevó a cabo por medio de la técnica de fermentación en tubos múltiples en caldo LMX. La determinación de la DBO₅ se realizó utilizando el equipo OxiTop®-C y la incubadora VWR P/DBO₅®, la determinación de la DQO se realizó utilizando el equipo Spectroquant Nova 60®. Los resultados fueron analizados utilizando EXCEL por medio de la t – pareada para dos variables y graficas de barras.

Los resultados de las determinaciones de coliformes totales, fecales, *E. coli*, DBO₅ y DQO revelan que no existe diferencia entre el agua del afluente y efluente en la planta de

tratamiento durante las dos épocas analizadas; los resultados sobrepasan los valores establecidos.

La investigación revela que no se cumple con los valores de referencia establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 66-2005 en las determinaciones microbiológicas y fisicoquímicas obtenidas después del proceso de sedimentación en la planta de tratamiento, al analizar el afluente y efluente tanto en época de lluvia como en época seca.

Por lo tanto, la planta no cumple con un funcionamiento eficiente, por lo que el agua no debería ser reutilizada para consumo y riego.

II. INTRODUCCION

De 1950 a 1995, la población de Latinoamérica aumentó de 179 millones a 481 millones de habitantes, lo que significó un aumento en la producción de residuos domésticos (4).

Más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día; sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Las aguas residuales son portadoras de una amplia variedad de microorganismos patógenos entre los que se encuentran bacterias, protozoos, helmintos y virus que afectan al hombre y a los animales domésticos, ya que estos son evacuados con las heces (4-7).

Se sabe que las aguas residuales pueden ser tratadas y que pueden ser utilizadas para el riego de cultivos, debido a que son ricas en una gran cantidad de nutrientes, aumentando el rendimiento de las cosechas y reduciendo la necesidad de fertilizantes (4,6,8-11) .

En Guatemala, la cobertura de saneamiento de aguas residuales alcanza el 60% de la población total, es decir 6, 831,202 de habitantes de los 11,385,337 según el censo 2002. En Guatemala existen 25 plantas de tratamiento, de las cuales 8 no están funcionando y 2 están en rehabilitación. Estanzuela, Zacapa, cuenta con una planta de tratamiento de tipo primario, en la cual desembocan los desechos producidos por el municipio, llevados hasta la misma por medio de la red de alcantarillado sanitario (12-14).

Con este estudio se pretende evaluar la eficacia del tratamiento de la planta de Estanzuela para eliminar o disminuir coliformes totales y fecales, así como determinar la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), parámetros que son indicadores de contaminación en aguas residuales. Todo ello se hizo con el propósito de establecer si el agua tratada en la planta es apta para el riego de cultivos y determinar si puede considerarse sanitaria y ambientalmente segura (actualmente es

utilizada por los pequeños agricultores para el riego de cultivos (camote, ocra, berenjena, pastos, yuca, limón, entre otros) y el resto es descargada a la quebrada “Las Casas”, que desemboca en el Río Grande). Para lograrlo se realizaron 10 muestreos, tomando en cuenta la época lluviosa y la época seca, tomando una muestra del afluente y efluente de manera semanal (5 muestras del afluente y 5 muestras del efluente por cada época (2,15).

Cada parámetro fue comparado con los valores de referencia del Reglamento emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Acuerdo Gubernativo 66-2005, Guatemala, C.A. para el control de aguas residuales (2).

III. ANTECEDENTES

A. Generalidades:

1. Definición de Aguas Residuales:

El agua que se utiliza en las distintas actividades humanas sufre modificaciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón, el agua procedente de los distintos procesos y actividades domésticas, industriales y agrícolas, etc., son denominadas aguas residuales y su descarga a los cuerpos de agua puede ser perjudicial para las personas, para los mismos cuerpos de agua y para las distintas formas de vida (14).

Por lo anterior es importante remover sustancias contaminantes de las aguas residuales antes de que las mismas sean descargadas a los cuerpos de agua, superficiales, subterráneos y costeros. La remoción de las sustancias contaminantes se realiza según niveles que deben responder, de acuerdo a normas específicas de cada país y a los usos que se hace de los cuerpos de agua (1-3).

2. Clasificación de las aguas residuales:

Las aguas residuales pueden clasificarse de acuerdo a su origen y composición de la siguiente manera:

- **Aguas residuales domésticas:**

Proviene de viviendas, edificios públicos y otras instalaciones públicas. Se incluyen aquí las aguas utilizadas para limpieza de calles y control de incendios y además las provenientes de pequeñas industrias locales conectadas al sistema de alcantarillado.

- **Aguas residuales comerciales:**

Proviene de locales comerciales como rastros, pequeñas industrias que suelen estar conectadas a un sistema común de alcantarillado.

- **Aguas residuales industriales:**

Son producidas por las grandes plantas industriales, de todo tipo; por ejemplo, industrias lecheras, petroquímicas, de curtido, papeleras, de lavado de minerales, de acabado de metales, industrias de laminación, plantas de ácido sulfúrico, industrias de alimentos, etc. (16).

- **Aguas residuales agrícolas:**

Proviene de la cría de ganado y del procesamiento de productos animales y vegetales.

- **Aguas de infiltración:**

Proviene de los sistemas de drenaje, tuberías de desagüe y del descenso artificial del nivel de las aguas subterráneas, así como de la infiltración de éstas hacia el sistema de alcantarillado a través de tuberías y otras instalaciones defectuosas.

- **Agua de lluvia:**

Incluye todas las formas de precipitación (lluvia, granizo, niebla y nieve).

- **Aguas superficiales:**

Proviene de aquellos cuerpos de agua superficiales que ingresan directamente en el sistema de alcantarillado (1).

3. Constituyentes de las aguas residuales:

Las aguas residuales municipales, son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tienen un olor a moho, ligeramente intenso, pero no ofensivo. Flotan en ellas cantidades variables de materia, sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, y otros residuos provenientes de las actividades cotidianas. La composición de esta agua se determina por:

- a) La composición original del agua
- b) Los residuos y desechos vertidos al sistema de alcantarillado o proveniente de viviendas, comercios y actividades artesanales.
- c) Sustancias arrastradas por el agua de la superficie del suelo o infiltradas a la red de alcantarillado en forma no controlada (1).

4. Contaminantes de las aguas residuales:

Las aguas residuales pueden contener una variedad de contaminantes, de los cuales los de más interés para su tratamiento son los siguientes:

- d) Sólidos en suspensión
- e) Materia orgánica biodegradable
- f) Patógenos
- g) Nutrientes
- h) Contaminantes prioritarios
- i) Materia orgánica refractaria
- j) Metales pesados
- k) Sólidos orgánicos disueltos

5. Objetivo de tratar las aguas residuales:

El problema de disponer de las aguas residuales fue imponiéndose debido al uso del agua para recoger y arrastrar los productos de desecho de la vida humana. Antes de esto, los volúmenes de desecho, sin que el agua sirviese de vehículo, eran muy pequeños y su eliminación se limitaba a los excrementos familiares o individuales. El primer método consistía en dejar los desechos corporales y las basuras en la superficie de la tierra, en donde eran gradualmente degradados por las bacterias (principalmente de origen anaerobio). Esto originaba la producción de olores ofensivos. Después la experiencia demostró que si estos desechos eran enterrados prontamente, se prevenía el desarrollo de tales olores. La siguiente etapa consistió en el desarrollo de los retretes o letrinas

enterrados, que es un método de eliminación de los desechos de excremento que todavía se emplea (16, 17).

Con el desarrollo de los suministros de agua a las poblaciones y el uso del agua para arrastrar o transportar los desechos caseros, se hizo necesario encontrar métodos para disponer no solamente de los desechos mismos, sino para el agua portadora. Se emplearon para ello los tres métodos posibles; **la irrigación** que consiste en derramar las aguas sobre la superficie del terreno, lo cual se hace generalmente mediante zanjas de regadío. Esto brinda humedad y pequeñas cantidades de ingredientes fertilizantes para la vida vegetal; **la disposición sub-superficial** que consiste en hacer llegar la tierra por debajo de su superficie, a través de excavaciones o enlozados. Usualmente, así sólo se eliminan las aguas residuales sedimentadas provenientes de instituciones o residencias; y la **dilución**, este último consiste en descargar las aguas residuales en aguas superficiales como las de un río, un lago o un mar. Esto da lugar a la contaminación del agua receptora. El grado de contaminación depende de la dilución, es decir del volumen de las aguas residuales y de su composición en comparación con el volumen de agua con que se mezclan (17, 18,19).

A medida que fue creciendo la población urbana, con el proporcional aumento de volúmenes de aguas residuales y desechos orgánicos, resultó que todos los métodos de disposición eran tan poco satisfactorios que se hizo imperativo tomar medidas esenciales para remediarlos y se dio inicio a el desarrollo de los métodos de tratamiento antes de la disposición final de las aguas residuales.

Los objetivos que hay que tomar en consideración en el tratamiento de las aguas residuales incluyen:

- a) La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- b) La prevención de enfermedades.
- c) El mantenimiento de aguas limpias para el baño y otros propósitos recreativos.
- d) Mantener limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de peces.

- e) Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
- f) La prevención de azolve de los canales navegables.
- g) Evitar la contaminación visual (17, 19).

6. Tratamiento de aguas residuales:

La secuencia de autodepuración aeróbica que tiene lugar cuando se añade materia orgánica a lagos y ríos puede desarrollarse en condiciones controladas donde se intensifican los procesos naturales. Esto comprende a menudo el uso de grandes balsas (tratamiento clásico de aguas residuales) donde se controlan rigurosamente la mezcla y el intercambio de gases. La depuración puede realizarse también mediante la construcción de humedales artificiales, donde cañas y plantas acuáticas naturales (y sus microorganismos asociados) procesan los nutrientes disueltos. Este tipo de métodos pueden ser eficaces para minimizar la degradación ambiental de recursos de agua valiosos y para destruir agentes patógenos humanos (20).

Los métodos modernos para el tratamiento de aguas residuales son encaminados a reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales, antes de que sean descargadas en los cuerpos de agua para mantener la calidad de los mismos. Existen varios métodos para reducir la demanda bioquímica de oxígeno, empleando combinaciones de métodos físicos, químicos y microbiológicos (21).

El tratamiento de las aguas residuales (desechos líquidos) es encaminado a eliminar la materia orgánica, microorganismos patógenos para el hombre y sustancias tóxicas. El tratamiento de aguas negras domésticas reduce la demanda bioquímica de oxígeno al suspender o disolver las sustancias orgánicas y el número de microorganismos entéricos patógenos, de tal manera que las aguas residuales que se descarguen no causen un deterioro inaceptable de la calidad ambiental (21).

7. Plantas de tratamiento de aguas residuales:

Una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas consta generalmente de una serie de componentes que logran un pretratamiento o tratamiento preliminar, un tratamiento primario, un tratamiento secundario y de ser necesario un tratamiento terciario.

Este tipo de métodos pueden ser eficaces para minimizar la degradación ambiental de recursos de agua valiosos y para destruir agentes patógenos humanos (1,20,21).

El tratamiento de aguas residuales convencional comprende: Ver anexo No 1.

a) El tratamiento preliminar:

En este se utilizan procesos biológicos para purificar el agua mediante una descomposición anaeróbica, aeróbica y oxidación del material orgánico. Esto se debe hacer cuando la materia orgánica está en solución.

Se lleva a cabo un proceso físico en el cual los desechos que entran a la planta son pasados por un tamiz que remueve objetos flotantes de gran tamaño, como trapos o ramas, que puedan interferir con los procesos, tapar la cañería y arruinar el equipo. Luego del tamizaje, el desecho pasa a una cámara donde cenizas, arena y piedras pequeñas sedimentan hacia el fondo (19).

b) Tratamiento primario:

Consiste en retirar material sólido en suspensión por medio de tanques o cubas de sedimentación. El material sólido es sacado del fondo de los tanques y sujeto posteriormente a digestión anaerobia y/o al método de composta antes de su depósito final en los basureros sanitarios o como material acondicionador de terrenos. Sólo un porcentaje muy reducido (40-60%) de materia orgánica disuelta o suspendida es, de hecho, mineralizada durante el tratamiento de los residuos líquidos; la mayor parte queda eliminada por sedimentación y en consecuencia el problema del desecho es simplemente “desplazado” al área de residuos sólidos sin ser resuelto. No obstante, este desplazamiento es esencial debido a los efectos nocivos de la descarga de líquido efluente con alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en los ecosistemas acuáticos con bajos contenidos naturales de oxígeno disuelto. Como los residuos líquidos varían en su composición y pueden contener principalmente sólidos y poca materia orgánica disuelta, el tratamiento primario debe suprimir del 70% al 80% de la DBO y ser suficiente. Sin embargo, el tratamiento primario normalmente suprime sólo del 30% al 40% de la DBO (19,20).

c) Tratamiento secundario:

En el tratamiento secundario de las aguas residuales una pequeña porción de la materia orgánica disuelta es mineralizada y la mayor parte es convertida a sólidos removibles. La combinación de los tratamientos primario y secundario, reduce la DBO original de las aguas negras en un 80 a 90%. El siguiente paso en el tratamiento secundario de las aguas residuales se basa en la actividad microbiana, que puede ser aeróbica o anaeróbica y se puede realizar en gran variedad de dispositivos (20). Cuando ha finalizado el crecimiento microbiano, en condiciones ideales los microorganismos se agregarán y formarán una estructura flocular estable sedimentable. Una unidad bien diseñada y eficientemente operada en el tratamiento secundario de las aguas residuales debe producir aguas efluentes con la DBO y/o sólidos suspendidos de menos de 20mg/dl (21).

d) Tratamiento terciario:

Depura el agua residual más de lo que permiten los tratamientos primario y secundario. El objetivo es eliminar contaminantes como materia orgánica no biodegradable, metales pesados y minerales utilizando procesos adicionales como filtración, lagunas, tierras húmedas construidas, remoción de nutrientes, microfiltración o desinfección. Se pueden eliminar los contaminantes orgánicos con filtros de carbono activado. La descarga de efluentes de aguas negras que contengan fosfatos y formas fijas de nitrógeno pueden producir grave eutrofización de los ecosistemas acuáticos (21).

8. Lagunas de estabilización:

Los estanques o lagunas de estabilización de aguas residuales son de uso muy frecuente en pequeñas comunidades, debido a que sus reducidos costos de construcción y explotación representan una importante ventaja frente a los restantes métodos de tratamiento. El uso de estanques para el tratamiento de aguas residuales industriales y mezclas de aguas residuales domésticas e industriales, susceptibles de tratamiento biológico, también está muy extendido (14,22).

Estos estanques son una alternativa para remover patógenos con relación a otros sistemas. En ellos no es necesario adicionar cloro al efluente para su desinfección. Además las lagunas de estabilización no necesitan partes mecánicas, reflejándose en el ahorro de los costos de adquisición de maquinaria, operación y mantenimiento (8,11,14).

La función principal de las lagunas es tratar al agua residual por medio de la interacción de la masa biológica o biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales. La finalidad del proceso es obtener un efluente de características definidas de acuerdo a su reuso agrícola, piscícola o para descarga en cuerpos receptores (11,22,23).

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realiza un proceso conocido con el nombre de autodepuración, o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico y biológico (24).

La demanda bioquímica de oxígeno y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100 ml) de las aguas descargadas en una laguna de estabilización y del efluente de las mismas, son los parámetros que más se han utilizado para evaluar las condiciones de trabajo de las lagunas de estabilización y su compartimiento (24).

Las lagunas que reciben el agua residual cruda se les llama lagunas primarias. El sistema debe contar por lo menos con dos lagunas primarias, en paralelo, con el objeto de que una se mantenga en operación mientras se hace la limpieza de lodos de la otra. Las lagunas que reciben el efluente de una laguna primaria se denomina secundarias, y dependiendo la calidad del efluente que uno desea evacuar pueden llegar a terciarias, cuaternarias, etc. A éstas también se les llama de maduración (24).

En estas lagunas se pueden llevar dos tipos de procesos:

a) Proceso aerobio:

Este proceso se caracteriza por la descomposición de la materia orgánica, la cual se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso participan bacterias aeróbicas o facultativas, las cuales originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a algas, éstas a su vez producen el oxígeno que facilita la actividad de las mismas bacterias (24).

b) Proceso anaerobio:

Este proceso es más lento y puede originar malos olores. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que la incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas y el oxígeno disuelto y la laguna se torna de color gris oscuro (24).

9. Distribución física de las lagunas de estabilización:

De acuerdo con la secuencia del flujo de una batería de lagunas, se pueden tener lagunas en serie, en paralelo, o en paralelo-serie (24).

a. Lagunas en serie:

Conjunto de lagunas que se suceden unas a otras y que están relacionadas entre sí. La calidad bacteriológica del efluente al colocar varias lagunas facultativas en serie ofrece una gran mejoría en el estabilización de las aguas residuales (ver anexo No 2.) (24).

b. Lagunas en paralelo:

Son dos o más circuitos que se conectan independientemente a uno principal. El uso de estas lagunas no incrementa considerablemente la calidad del efluente, pero en cambio, ofrece muchas ventajas de construcción y operación, ya que las lagunas primarias acumulan una gran cantidad de lodos y requieren ser limpiadas periódicamente (ver anexo No.3) (24).

10. Tipos de lagunas:

El objetivo primordial de las lagunas de estabilización, es la remoción de patógenos. Para ello se toma como base el período de retención, se disminuye la carga orgánica (DBO) de las aguas residuales y se logra que el nivel de oxígeno disuelto en los cuerpos receptores se vea favorecido, con el beneficio de ser utilizado por los peces y demás organismos acuáticos. Las posibles variaciones en lagunas de tratamiento de aguas servidas se pueden clasificar de distintas maneras, pero un de las más habituales es hacerlo según la participación del oxígeno disuelto en el sistema (24).

a. Lagunas aerobias:

Una laguna en que se espera (por diseño) que exista oxígeno disuelto en todo el sistema se clasifica como laguna aerobia. Son lagunas de alta producción de biomasa, cuya profundidad es reducida entre 0.3 a 0.45 metros, en la cual, mediante la penetración de la luz solar hasta el fondo y por su diseño para una máxima producción de algas con cortos períodos de retención, la reducción de la materia orgánica es efectuada por la acción de organismos aeróbicos. Son utilizadas perfectamente en climas calientes y con buena radiación solar, pero su uso en el tratamiento de aguas residuales no es generalizado (24).

b. Lagunas anaerobias:

Si el oxígeno está ausente en toda la laguna se clasifica como laguna anaerobia, y es cuando la carga orgánica aumenta mucho. La DBO excede la producción de oxígeno de las algas, actuando como un digester anaeróbico abierto. Son estanques de mayor profundidad, entre 2.5 a 5 metros, con tiempos de retención del agua residual en ellas de 5 días. En este tipo de lagunas, no se remueven los flotantes, para conservar el calor y para aislar la laguna del oxígeno atmosférico (25).

c. Lagunas facultativas:

Las lagunas facultativas son las más utilizadas y tienen la característica de poseer una zona superior aerobia y otra zona inferior anaerobia, donde existe una zona de transición en donde viven las bacterias facultativas. La profundidad de estas lagunas varía entre 1 y 2 metros. Este tipo de lagunas se proyectan para tiempos de retención altos y cargas orgánicas bajas. En lo que respecta a la remoción de materia orgánica, las lagunas facultativas alcanzan un valor hasta del 85% y un 99.9% máximo en lo referido a la remoción de bacterias coliformes (24).

B. Parámetros de contaminación y de purificación de las aguas residuales:

El grado de contaminación y de purificación se puede medir física, química y biológicamente, dependiendo de la naturaleza de las sustancias contaminantes y de los usos

de la masa receptora de agua (o el agua tomada de ella). Se realizan mediciones de turbiedad, color, olor, nitrógeno en sus varias formas, fósforo, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, microorganismos y la composición de la flora y la fauna acuática (25).

Según el Acuerdo Gubernativo No. 66-2005, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, Reglamento de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores, los valores de referencia son los siguientes:

Cuatro No. 1 Parámetros de Referencia para Aguas Residuales según el Acuerdo Gubernativo 66-2005.

ANALISIS	PARAMETRO DE REFERENCIA
Temperatura	TCR +/-7°C
pH	6 – 9
Demanda Química de Oxígeno	300 mg O ₂ /L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	200 mg O ₂ /L
Coliformes Totales	NPL*
Coliformes Fecales	1.0 x 10 ⁴ NMP/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	1.0 x 10 ⁴ NMP/100 ml

Fuente: Acuerdo Gubernativo 26-2005.

TCR: Temperatura del Campo Receptor.

Para evaluar si un desecho se está estabilizando, se hace mediante los siguientes parámetros principalmente: (2).

1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el parámetro más comúnmente usado para definir el grado de contaminación o “fuerza” de desechos líquidos domésticos e industriales orgánicos (2,3,21,22).

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno utilizado por una mezcla de poblaciones de microorganismos (principalmente bacterias), en la oxidación aeróbica de la materia orgánica de una muestra de aguas negras a una temperatura de 20°C. La DBO puede ser considerada como un proceso de oxidación de la materia carbonosa, transformándola en dióxido de carbono, agua y amoníaco (1,2,20,21).

Se ha comprobado que un porcentaje razonable del total de DBO se desarrolla en cinco días; como consecuencia, la prueba normal ha sido desarrollada en base a un período de incubación de cinco días. Usualmente la DBO_5 estándar (el período de incubación de cinco días y a $20^{\circ}C$) se expresa en mg/dl o partes por millón (ppm) de oxígeno (1,2,20,21,25).

2. Demanda química de oxígeno (DQO):

La demanda química de oxígeno es una combustión química en húmedo de la materia orgánica de la muestra. Una solución ácida fuerte de dicromato de potasio es usada para oxidar la materia orgánica a elevadas temperaturas; corrientemente se utilizan dos catalizadores, sulfato de plata y sulfato de mercurio, que son necesarios para neutralizar la interferencia de los cloruros y asegurar la oxidación de los compuestos orgánicos difíciles de oxidar, respectivamente. Una de las limitaciones principales de la prueba DQO es la limitación para diferenciar entre la materia orgánica degradable y la materia orgánica no degradable y no provee ninguna evidencia de la velocidad de degradación biológica del material bajo las condiciones en que existen en la naturaleza (1,2,20,21,25).

3. Relación DBO/DQO:

Para aguas residuales específicas y para un tipo específico de sistemas de tratamiento, es posible obtener correlaciones entre los valores de la DBO y la DQO.

Durante el tratamiento, los valores de la DBO y DQO de aguas residuales, decrecerán, porque el material biológico oxidable disminuye, mientras que los cambios químicos biológicamente oxidables no disminuirán como resultado de la respiración endógena de la masa de células remanentes. La determinación de la relación DBO a DQO (DBO/DQO), permite determinar si los desechos contenidos en el agua pueden ser degradados biológicamente, o por el contrario, indica que el desecho no es tratable en forma biológica (1,20,21).

4. Número más probable de Coliformes totales y fecales por 100 ml de agua:

Este parámetro nos permite evaluar el impacto microbiológico de las aguas residuales analizadas, el grado de contaminación de las mismas, la incidencia manifestada principalmente a través de estos microorganismos.

Los ensayos más habituales empleados para la determinación de la presencia de organismos coliformes son el método de fermentación en tubos múltiples y el método del filtro de membrana.

Es importante poner énfasis en el hecho de que el número más probable no es la concentración absoluta de organismos presentes en la muestra, sino tan solo una estimación estadística de la concentración (1).

C. Importancia del tratamiento de las aguas residuales:

1. Importancia Ambiental:

Es importante hacer énfasis en el impacto ambiental que conllevan los proyectos de uso de aguas residuales, debido a que cuando se aplican y gestionan adecuadamente, los proyectos de aprovechamiento de aguas residuales ejercen efectos ambientales positivos e incrementan el rendimiento agrícola y acuícola (26).

El mejoramiento del medio ambiente obedece a diversos factores; entre los más importantes se encuentran:

- a) Evitar la contaminación de cuerpos de aguas superficiales debido al vertimiento directo de las aguas residuales en ríos, lagos, o mares.
- b) Conservar o emplear de manera más racional los recursos de agua dulce, sobre todo en zonas áridas y semi-áridas.
- c) Reducir la utilización de fertilizantes artificiales, con la consiguiente disminución de gastos en energía y de la contaminación industrial.
- d) Conservar el suelo por enriquecimiento con humus y prevenir la erosión del terreno.

- e) Luchar contra la desinfección y recuperar zonas áridas mediante el riego y fertilización de bosques.
- f) Mejorar las zonas recreativas de las ciudades, mediante el riego y la fertilización de espacios verdes, así como incrementar su atractivo visual mediante entornos ecológicos alrededor de las urbes (2,26).

1.1 Necesidad de tratamiento de las aguas de Estanzuela

El Río Grande es un río que tiene sus orígenes en las montañas y en su trayecto circunda los departamentos de Chiquimula y Zacapa (pasando próximo al municipio de Estanzuela) y finalmente desemboca en el Río Motagua (23).

La descarga de aguas grises proveniente de la red de alcantarillado sanitario de la población del municipio de Estanzuela es dispuesta a una quebrada o zanjón de invierno denominado “Las Casas”, con una longitud de 3,600 metros aproximadamente y desfoga en el Río Grande. Este río registra un caudal promedio de 2 m³/seg y su recorrido aguas arriba absorbe las descargas de aguas residuales de los poblados que atraviesa, por lo que su grado de contaminación es alto (23).

Según el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), el caudal negro que aporta este sistema es relativamente bajo, comparado con el del cuerpo receptor, tanto en volumen como en su grado de contaminación. Sin embargo, se ha comprobado no con estudios previos, que la incidencia de la descarga directa sobre la quebrada es sensible, contaminándola con materia orgánica, bacterias y parásitos propios de las descargas domésticas. Además estos efectos nocivos perjudican al ganado de aguas abajo, por consiguiente, el efecto se transmite a los pobladores (23).

Por lo tanto, el grado de contaminación antes del punto de unión con la descarga de Estanzuela es alto, como consecuencia de ésto podrían darse los siguientes impactos negativos tanto para la comunidad como para el medio ambiente:

- a) Riesgos para la salud pública en todos los alrededores de las descargas y/o por la utilización de fuentes de agua contaminada.

- b) Riesgos de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por escorrentías de aguas servidas.
- c) Degradación de la calidad de las aguas receptoras de las descargas de alcantarillado.
- d) Contaminación en los lugares de aplicación a la tierra, del suelo y los cultivos por sustancias tóxicas y nitrógeno.
- e) Inconvenientes reales o percibidos e impacto estético negativo en el vecindario por la presencia de agentes no desechos (ejemplos: moscas, ratas y cucarachas), incidiendo en la desvalorización de las propiedades afectadas (24).

Por lo tanto el tratamiento de aguas residuales provenientes de la red de alcantarillado sanitario del municipio de Estanzuela permite el reuso de efluentes, principalmente en la agricultura, preservar las escasas fuentes de agua y mantener la calidad ambiental (20,27,28).

2. Importancia en la Salud:

En países en desarrollo, la relación entre excretas y enfermedades es muy común, por esa razón las aguas residuales y los desechos contienen grandes concentraciones de organismos patógenos capaces de infectar al ser humano, como lo son las bacterias, protozoos, helmintos y virus (8,29).

Es muy importante que las aguas residuales sean tratadas adecuadamente antes de realizarse las actividades de desinfección, para que la acción de cualquier desinfectante sea eficaz y evitar la diseminación de enfermedades (29,30,31).

El peligro más común y difundido, relativo al agua de consumo humano es el de su contaminación microbiana con aguas residuales y excretas del hombre y los animales. Para controlar los peligros, se aplican criterios para normar la calidad de las aguas. El cumplimiento de las normas sanitarias deber reducir en forma significativa los riesgos de contraer enfermedades infectocontagiosas (9,31).

3. Importancia Económica:

Según un estudio patrocinado por el Banco Mundial en 1997, la construcción de una planta convencional para el tratamiento de aguas para una población de un millón de habitantes requiere una inversión capital de aproximadamente 100 millones de dólares (el total de la inversión para la elaboración de la planta de tratamiento de Estanzuela, Zacapa, asciende a la cantidad de Q. 190,773.00, incluidos costos directos de Q. 126.080.00 y gastos técnicos por Q. 16,878.00), sin mencionar los costos sustanciales de operación y mantenimiento para su operación continua.

En el primer año de la epidemia del cólera en Perú en 1991, se asociaron altos costos a las necesidades curativas y de atención preventiva de la salud para el público. Asimismo se incurrieron pérdidas debido a la disminución de turismo y una prohibición temporal sobre las importaciones de productos alimenticios peruanos. Sólo en el primer año, los cálculos de estas pérdidas variaron entre 180 a 500 millones de dólares, gastos que duplican y triplican el costo de inversión en plantas de tratamiento que hubieran prevenido el alto costo de la epidemia (4).

La importancia de practicar el tratamiento de aguas residuales, es de tipo económico, siempre y cuando se lleven a cabo adecuadamente los criterios apropiados de diseño y sobre todo el tipo de efluente a tratar, ya que el reuso del agua tratada o renovada puede ser de gran utilidad en lugares donde existe escasez de agua (4,11,32).

D. Descripción general del Municipio de Estanzuela:

1. Características:

Estanzuela, municipio del departamento de Zacapa, está localizada a 8 Km. de la cabecera departamental y a una distancia de 142 Kms. de la ciudad capital en carretera asfaltada (CA – 9). Se localiza a una latitud de 14°59'55'' y longitud de de 89°34'25'', y a una altura de 195 metros sobre el nivel del mar (Ver anexo No. 4) (12,13,23,33).

a. Clima:

El clima del municipio de Estanzuela es cálido, oscilando una temperatura mínima promedio de 22° C y una máxima de 41° C con temperatura media de 28° C. Los vientos tienen una velocidad media de 6 Km/hora. (12,33).

b. Actividad Económica:

La principal actividad económica en el municipio es la agricultura, produciendo principalmente: maíz, frijol, pastos, yuca, legumbres, hortalizas y frutas tropicales. Adicional a esto, se dedican a la ganadería, elaboración de queso, mantequilla y fabricación de productos artesanales como bordados (12,13,33).

c. Densidad de Población:

Estanzuela cuenta con una densidad poblacional de 11,385,337, según el censo del año 2002 (12,31).

d. Servicios:

i. Agua Potable:

El agua es extraída de dos pozos con una profundidad de 500 pies cada uno, de los cuales el agua se encuentra caliente y de esa forma recorre las tuberías, siendo necesario dejarla reposar en recipientes durante 24 horas para poder beberla, debido a que la temperatura del agua extraída de los pozos es de 50°C (33).

ii. Electricidad:

Estanzuela es provista de energía eléctrica por la Empresa DEORSA (33).

iii. Alcantarillado:

Estanzuela cuenta con una red de alcantarillado sanitario la cual es conducida hasta la planta de tratamiento de aguas residuales, en donde se le da tratamiento en cuatro lagunas de sedimentación (33).

E. Planta de tratamiento de Estanzuela:

1. Funcionamiento de la Planta de Estanzuela:

La descarga del sistema de alcantarillado de Estanzuela, provoca una alta contaminación del agua, por lo que el proyecto cubre un sistema de interceptores en la quebrada “Las Casas”, una prolongación de la línea de descarga hasta el terreno donde se sitúa la planta de tratamiento de agua negras, el cual fue construido con el propósito de cumplir con los requerimientos ambientales. Este proyecto se divide en tres fases: (23).

- a) **Fase I:** Interceptores paralelos a la quebrada o zanjón “Las Casas”, que pasa por la población, cuyo objetivo principal es la de interceptar a las descargas que anteriormente contaminaban la quebrada.
- b) **Fase II:** Una línea final de descarga que empieza a partir de la caja unificadora para los interceptores paralelos y cuyo objetivo es la de conducir la descarga final hacia los terrenos donde está ubicada la planta de tratamiento (23).
- c) **Fase III:** Planta de tratamiento, para toda la descarga de alcantarillado de Estanzuela. Para esta planta de tratamiento se usa tecnología que se le denomina “Laguna de Estabilización”, y consiste básicamente en:
 - i. Dos lagunas facultativas primarias en paralelo de 130 metros de largo por 40 metros de ancho y 200 metros de profundidad.
 - ii. Dos lagunas facultativas secundarias en serie, una de 230 metros de largo por 40 metros de ancho y 200 metros de profundidad y la otra de 130 metros de largo por 40 metros de ancho y 200 metros de profundidad (ver anexo No. 5) (23).

Con este sistema se está garantizando un efluente con una remoción de 65% de DBO en las lagunas primarias y una remoción del 90% en las lagunas secundarias. Y se tendría una calidad bacteriana de $5 \cdot 10^5$ UFC/100ml de coliformes fecales. Con esto se evita

la contaminación de aguas en áreas situadas río continuo a la planta de tratamiento de Estanzuela y se preserva la calidad de agua del cuerpo receptor final (23).

2. Usos actuales de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa:

Actualmente los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Estanzuela es utilizada por los pequeños agricultores para el riego de cultivos como limón, mango, pastos, sorgo, camote, oca, berenjena y yuca, el resto del agua no utilizada es descargada a la quebrada “Las Casas” que desfoga en el Río Grande, sin embargo la planta no cuenta con un monitoreo periódico que certifique la calidad del agua tratada, tal como establece el Acuerdo Gubernativo No. 66-2005, para el control de aguas residuales (23).

F. Uso de Aguas Residuales según el acuerdo gubernativo 66-2005:

Según el Acuerdo Gubernativo No. 66-2005, del Ministerios de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, Reglamento de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores, los usos que pueden ser aprobados son los siguientes:

1. Reuso Urbano:

Riego de zonas verdes, campos deportivos, parques, cementerios, lavado de automóviles, lavado de inodoros, combate de incendios y otros usos similares (2).

2. Reuso para riego con acceso restringido:

Selvicultura, y otras áreas donde el acceso del prohibido, restringido o poco frecuente (2).

3. Reuso Agrícola en Cultivos Permanentes de frutos que no se procesan Industrialmente:

Riego de cualquier cultivo comestible que es consumido crudo (2).

4. Reuso Agrícola en Cultivos de Alimentos que se Procesan Industrialmente:

Para riego de Cultivo que tendrán procesamiento físico o químico necesario para la destrucción de los organismos patógenos que pudieran contener (2).

5. Reuso Agrícola en Cultivos no Aptos para Consumo Humano:

Riego de Pastos para ganado, forrajes, cultivos de fibras y semillas, y otros cultivos no aptos para el consumo humano (2).

6. Reuso Recreativo:

En actividades deportivas donde el contacto con el agua sea incidental y/o directo con aguas recuperadas y riego de campos deportivos (2).

7. Reuso en la Construcción:

Compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales y producción de concreto (2).

IV. JUSTIFICACION

De acuerdo a estudios realizados por el Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día y menos del 5% de las aguas contaminadas de las ciudades reciben tratamiento (4).

En Guatemala existen 25 plantas de tratamiento de aguas servidas de las cuales 8 no están funcionando y 2 están en rehabilitación. El Municipio de Estandzuela, Zacapa, cuenta con una planta de tratamiento desde septiembre de 1998; en ella desembocan los desechos producidos por el municipio, los cuales son llevados hasta la misma por medio de la red del alcantarillado sanitario (13,23).

El agua tratada es utilizada en parte por los pequeños agricultores para el riego de camote, oca, berenjena, pastos, yuca y limón, entre otros. El resto se descarga en la quebrada “Las Casas”, que desemboca en el Río Grande. Sin embargo, la planta no cuenta con un monitoreo periódico que certifique la calidad del agua tratada, tal como establece el Acuerdo Gubernativo No. 66-2005, para el control de aguas residuales (2,13,23).

Con este trabajo se pretendió evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Estandzuela, a través de un análisis microbiológico y fisicoquímico, con el fin de determinar la eficacia de la Planta en la reducción de coliformes así como de la DBO_5 y DQO y proporcionar recomendaciones oportunas para la calidad y reuso del agua tratada. Este tipo de estudios son importantes para promover una cultura de cuidado del agua y de máximo aprovechamiento de tan importante recurso natural en la zona.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo General:

Determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica de los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento del municipio de Estanduela, Zacapa, para establecer la eficiencia de dicha planta.

B. Objetivos Específicos:

- 1.** Evaluar el contenido de coliformes totales y fecales presentes en los afluentes y efluentes en base al Acuerdo Gubernativo No. 66-2005.
- 2.** Comprobar la DQO y DBO₅ de los afluentes y efluentes para establecer si cumplen con los valores establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 66-2005.
- 3.** Comparar los resultados obtenidos en los afluentes y efluentes para evaluar la eficacia del funcionamiento de la planta.

VI. HIPOTESIS

No se presenta hipótesis por ser un estudio de tipo descriptivo.

VII. MATERIALES Y METODOS

A. Universo de trabajo:

Agua residual tratada en el municipio de Estanzuela, Zacapa.

1. Muestra:

20 muestras de agua: 10 muestras recolectadas en época seca (5 del afluente y 5 del efluente) y 10 muestras en época de lluvia (5 del afluente y 5 del efluente).

B. Recursos:

1. Recursos Humanos:

- a. Br. Flor de María Urzúa Navas (Autora)
- b. Licda. Ana Rodas de García (Asesora)

2. Recursos Institucionales

- a. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico-LAFYM-
- b. Municipalidad de Estanzuela, Zacapa.

C. Materiales:

1. Instrumentos:

- Gradilla
- Pipeteador manual
- Asa de Nicromo
- Mechero
- Frascos de Polietileno
- Hielera
- Baterías de Hielo
- Lapiceros
- Marcadores

- Agitador Magnético
- Tapón de Hule
- Cubetas de Reacción para DQO
- Bolsas Plásticas Estériles

2. Cristalería:

- Tubos de vidrio con rosca
- Cajas de Petri (Plástico)
- Pipetas de Vidrio Volumétricas
- Tubos de vidrio (10ml)
- Frascos de Vidrio estériles (200ml)
- Botella Ámbar de 500 ml
- Tubos de ensayo (20 ml)

3. Equipo:

- Cabina de bioseguridad biológica, clase II.
- Spectroquant NOVA 60 ®
- Termoreactor TR 300 ®
- Incubadora VWR P/DBO ®
- Incubadora PRECISION (35°C) ®
- Lámpara de Luz Ultravioleta 5nm
- Tapadera Oxitop®
- Vortex
- Potenciómetro Inolab Cond pH Level 2®
- Conductímetro Inolab Level 1 ®
- Computadora
- Impresora

4. Medios y Reactivos:

- Caldo **LMX** (Laurilsulfato-4-metilumbeliferil-B-D-glucorónico (MUG) 5 Bromo-4cloro-3-indolil-B-D-galactopiranosido (X-GAL))
- Agar MacConkey
- Reactivo Vogues-Proskaguer
- Reactivo Rojo de Metilo
- Agar Citrato
- Tabletas de Hidróxido de Sodio
- Caldo MRVP (Rojo de Metilo-Vogues Proskaguer)
- Reactivo de Kovac's

D. Métodos:

1. Procedimiento:

- a. Se recolectaron 5 muestras del afluyente y 5 muestras del efluente durante la época de lluvia* en el municipio y 5 muestras del afluyente y el efluente durante la época seca para un total de 20 muestras.
- b. Las muestras se recolectaron en frascos de polietileno estériles con capacidad para 900 ml de agua para el análisis fisicoquímico y bolsa plástica estéril con capacidad de 200 ml para el análisis microbiológico. Se midieron en el momento de la recolección de las muestras, el pH y temperatura, y luego fueron transportadas al Laboratorio de Análisis Microbiológicos y Fisicoquímicos (LAFYM) de la Facultad de C.C. Q.Q. y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a una temperatura entre (4-10°C).

**Condición para recolectar muestras, que lloviera durante la semana de muestreo.*

- c. Las muestras fueron analizadas por medio de la técnica de fermentación en tubos múltiples o técnica del Número Más Probable (NMP) para el análisis de Coliformes Totales y Fecales. El análisis fisicoquímico se basó en un método espectrofotométrico, utilizando el aparato Spectroquant NOVA 60® para la DQO y equipo OXITOP® para la DBO₅.
- d. Los resultados fueron analizados utilizando el programa EXCEL.
- e. Al final del trabajo, los resultados fueron presentados a la Municipalidad de Estanduela, Zacapa.

2. Análisis de las muestras:

a) Fermentación en Tubos Múltiples o Técnica del Número Más Probable (NMP)

i. Fase Presuntiva y Confirmatoria:

- Tubos de caldo LMX, tres series de 5 tubos cada una.
- Los tubos se preparan en distintas concentraciones de inóculo y de medio (Ver anexo No. 6).
- Ordenar los tubos en 3 series de 5. La primera serie con 10ml de caldo, la segunda serie y tercera serie con 9ml de caldo.
- Para agua no potable utilizar 5 tubos por dilución (10 ml de muestra original para cada tubo de la primera serie; 1.0 ml para cada tubo de la segunda serie y 0.1 mL para cada tubo de la tercera serie (ver anexo No. 7).
- Mezclar la muestra y las diluciones fuertemente, 25 veces.
- Incubar los tubos a 35°C ± 0.5°C por 24 horas ±2 horas.
- Agitar en forma circular y chequear si hay crecimiento. Una coloración verde, después de 24 hrs de incubación, indica la presencia de coliformes totales, una coloración azul fluorescente bajo luz UV (ultravioleta, indica la presencia posible de coliformes fecales (34).

- Si después de 24 horas no se evidencia crecimiento, dejar por 24 horas más, incubando a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Si no presenta crecimiento reportar como $<$ de 10 UFC/100 ml de agua (35).

ii. Fase Completa:

- Para aguas negras o residuales si todos los tubos son positivos, pasar una asada a agar MacConkey de los tubos de la última serie (mayor dilución), de lo contrario pasar el 10% de los tubos positivos de cada serie.
- De cada tubo positivo estriar asepticamente en agar MacConkey (35).
- Luego de 24 hrs. de incubación, tomar una colonia aislada, lactosa positivo, presuntiva de *E. coli* y realizar un IMVIC (Indol, Rojo de Metilo, Vogues Proskaguer, Citrato) (35).
- Los resultados fueron reportados utilizando la tabla del número más probable (NMP) basándose en el número de tubos positivos (color verde) para coliformes totales y tubos de color azul, bajo luz UV, para coliformes fecales (35).

iii. Cálculo y Registro del NMP:

- Para calcular la densidad de coliformes se utilizó la tabla del NMP, ya que es la más apropiada para una variedad de series y resultados.
- Incluidas en estas tablas, está el 95% de confianza para cada valor de NMP determinado. Si el volumen de muestra utilizado se encuentra en estas tablas se reportará el correspondiente valor al número de resultados positivos y negativos como el NMP/ 100 mL.
- El NMP para combinaciones que no aparezcan en la tabla o para otras combinaciones de tubos o diluciones, se estimó por la

formula de Thomas:

$$\text{NMP/100 ml} = \frac{\text{No. de tubos positivos} \times 100}{\sqrt{(\text{ml de muestra en tubos negativos} \times \text{ml de muestra en todos los tubos})}}$$

3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- La muestra se recolectó en frascos de polietileno y luego se transportaron en frío al laboratorio (a una temperatura de 6°C)*.
- Se utilizaron cubetas de reacción para la determinación de la demanda química de oxígeno (Spectroquant Nova 60®).
- Se agitó hasta dispersar el contenido de la cubeta de reacción.
- Se utilizaron 3 ml de muestra (previo una dilución 1/10) y se agregó a la cubeta de reacción.
- Se incubó en el Thermoreactor ® por 2 hrs. a 148°C.
- Se dejó enfriar por 10 minutos, se agitó.
- Se dejó enfriar por 30 minutos, se agitó.
- Se realizó la medición en el Spectroquant Nova 60®.
- Se multiplicó el valor por el factor de dilución (10).
- El resultado lo da el espectrofotómetro en miligramos de oxígeno por litro (mg de O₂/L)
- Se reportó el resultado (35).

4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

- La muestra fue tomada en frascos de polietileno y fue transportada en frío al laboratorio (4 – 10°C)*.
- Para seleccionar los valores de volumen de la muestra a utilizar se debe seguir la tabla (ver anexo No. 8)
- Se lavó la botella con un poco de la muestra, vaciar completamente.

- Se midió exactamente la cantidad de la muestra perfectamente homogenizada.
- Se colocó un rodo magnético dentro de la botella.
- Se insertó el tapón de hule en el cuello de la botella.
- Se colocaron 2 tabletas de hidróxido de sodio en el tapón de hule con unas pinzas.
- Se colocó la Tapadera OxiTop®-C en la botella con la muestra.
- Se cerró bien.
- Se comunicaron las botellas con el control de lectura.
- Se colocaron las botellas en la incubadora VWR P/DBO® que debe encontrarse a 20°C.
- La botella se mantuvo con la Tapadera OxiTop®-C puesta por cinco días a 20°C.
- Durante los cinco días, la muestra fue constantemente agitada por medio del rodo magnético, la Tapadera OxiTop®-C automáticamente guarda el valor de lectura cada 24 horas por los cinco días (33).
- El resultado fue dado automáticamente por la incubadora VWR P/DBO® a los cinco días de incubación, el cual fue registrado en el control de lectura en miligramos de oxígeno por litro (mg de O₂/L).

D. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

1. Muestreo:

- a) Se recolectó un total de 20 muestras: 5 muestras del afluente y 5 muestras del efluente en época de lluvia; y 5 muestras del afluente y efluente en época seca. A cada muestra de cada época se les aplicaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

2. Variables:

- a) Dependiente: Coliformes totales, coliformes fecales, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).
- b) Independiente: Planta de Tratamiento primario de las Aguas Residuales de Estanzuela, Zacapa.
- c) Factores adicionales: época seca y época lluviosa.

3. Análisis Estadístico de los datos: para llevar a cabo el análisis de los datos se hará el siguiente proceso:

- a) Se creó una base de datos en EXCEL.
- b) Se depuró la base de datos
- c) Se calcularon valores medios, desviación estándar, error estándar, diferencia entre afluentes y efluentes del total de datos.
- d) Se llevó a cabo la prueba de “t pareada” para establecer si existe diferencia significativa entre los afluentes y efluentes.
- e) Se llevó a cabo un análisis de varianza de dos factores (afluentes y efluentes, época seca y lluviosa), para establecer si existen diferencias significativas.
- f) Se llevó a cabo un análisis gráfico (gráfico paralelo).

IX. RESULTADOS

Se hizo un reconocimiento en la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa con el propósito de conocer el funcionamiento y eficiencia de la misma y establecer la metodología de toma de muestra más adecuada. Se realizó el análisis en 2 puntos de muestreo, los cuales fueron establecidos como **Punto 1 (afluente)**, que consta de la tubería donde desembocan las aguas negras a las dos lagunas de estabilización primarias y **punto 2 (efluente)**, donde se recolectó el agua proveniente de la segunda laguna secundaria, justo antes de que desembocará en el río y en los campos de siembra donde es utilizada por los pequeños agricultores beneficiados.

Al analizar los resultados de coliformes totales, fecales y *E. coli*, así como los resultados de la DBO₅ y DQO se encontró que no existe diferencia entre los resultados obtenidos de las muestras tomadas en el punto 1 (afluente) y punto 2 (efluente). En ambos puntos se encontraron resultados muy similares.

A continuación, en las tablas 1 – 4, se presentan los resultados obtenidos tanto para el análisis microbiológico como fisicoquímico, divididas en dos grupos: A. análisis microbiológicos, en donde los resultados son reportados en NMP/ 100 ml y B. análisis fisicoquímicos, en donde los resultados son reportados en mg de O₂ /L. Las tablas presentan la composición tanto del afluente como del efluente.

A. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

1. Época de lluvia:

En la **tabla No. 1** se presentan los resultados expresados en NMP/100mL de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* de las 5 muestras tomadas del afluente y las 5 muestras del efluente, durante la época de lluvia. El análisis de las dos variables (afluente vrs. efluente) muestra **que no existe diferencia significativa entre el agua que ingresa a la planta de tratamiento y el agua que egresa de la misma luego de su tratamiento**, para ninguno de los análisis.

Tabla No. 1 Número más probable de coliformes totales, fecales y *E. coli* en época de lluvia del afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Estanzuela, Zacapa, durante el 2006.

Análisis Microbiológico*									
Afluente					Efluente				
Fecha	No. Muestra	C. Totales	C. Fecales	<i>E. coli</i>	Fecha	No. Muestra	C. Totales	C. Fecales	<i>E. coli</i>
10/09/2006	M1 ¹	1,60X10 ⁰⁷	1,60X10 ⁰⁷	1,60X10 ⁰⁷	10/09/2006	M1 ¹	5,00X10 ⁰⁵	3,00X10 ⁰⁴	3.00X10 ⁰⁴
19/09/2006	M2	2,00X10 ⁰⁷	2,00X10 ⁰⁷	2,00X10 ⁰⁷	19/09/2006	M2	3,00X10 ⁰⁶	3,00X10 ⁰⁶	0.00X10 ⁰⁰
24/09/2006	M3	1,60X10 ⁰⁷	1,60X10 ⁰⁷	1,60X10 ⁰⁷	24/09/2006	M3	4,00X10 ⁰⁶	4,00X10 ⁰⁵	4.00X10 ⁰⁵
01/10/2006	M4	9,00X10 ⁰⁷	9,00X10 ⁰⁷	9,00X10 ⁰⁷	01/10/2006	M4	2,00X10 ⁰⁶	0,00X10 ⁰⁰	0.00X10 ⁰⁰
08/10/2006	M5	1,60X10 ⁰⁷	1,60X10 ⁰⁷	0,00X10 ⁰⁰	08/10/2006	M5	1,70X10 ⁰⁶	2,50X10 ⁰⁵	0.00X10 ⁰⁰
Limites**		NPL	NPL	NPL		NPL	1.0 x 10⁴	1.0 x 10⁴	NPL

Fuente: Análisis Experimental.

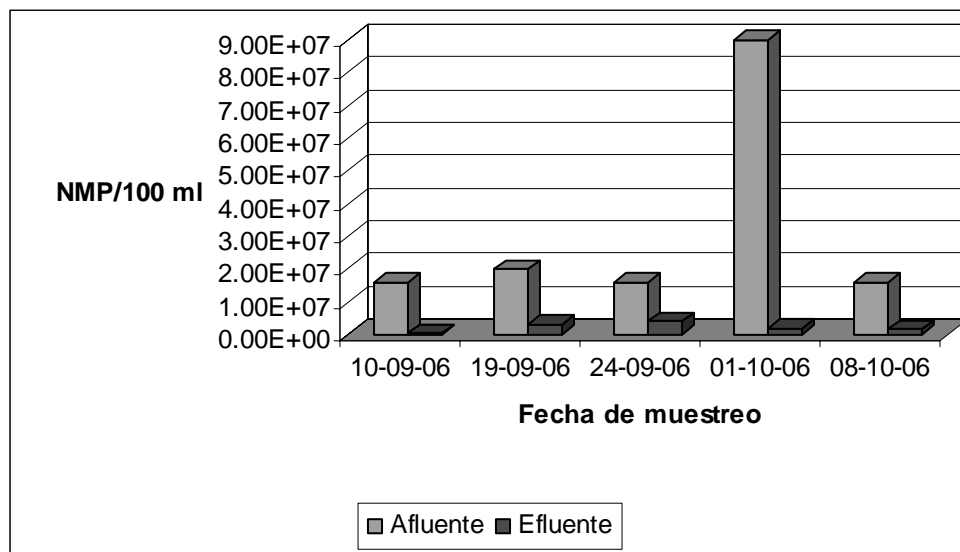
* Valores presentados en NMP/100ml
M= microbiológico

** Limite según el Acuerdo Gubernativo 66-2005.
NPL= No Presenta Limites.

¹ = Corresponde al número de muestreo

En la gráfica 1 se observa la diferencia en la cantidad de coliformes totales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento, durante la época de lluvia. Las barras muestran un comportamiento similar en todos los muestreos, con excepción del muestreo del 01 de octubre, donde se observa que el recuento de **coliformes totales** en el afluente es bastante elevado, con relación a los otros muestreos.

Gráfica No. 1 Determinación de coliformes totales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa durante la época de lluvia del 2006.

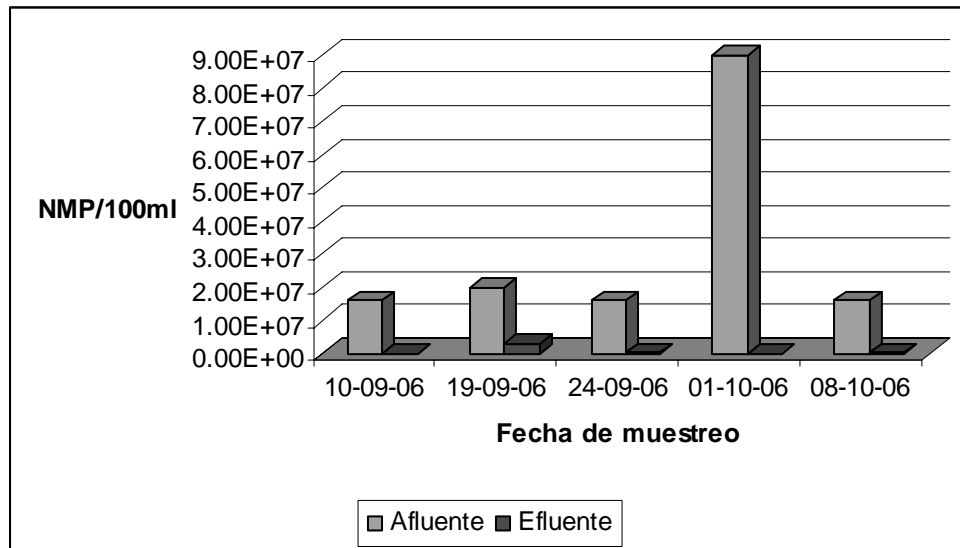


Fuente: Datos Experimentales.

NMP= Número Más Probable
ml= mililitros

En la gráfica 2 se observa la diferencia en la cantidad de coliformes fecales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento, durante la época de lluvia. Las barras muestran un comportamiento similar en todos los muestreos, con excepción del muestreo del 01 de octubre, donde se observa que el recuento de **coliformes fecales** en el afluente es bastante elevado, con relación a los otros muestreos.

Gráfica No. 2 Determinación de coliformes fecales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa durante la época de lluvia del 2006.

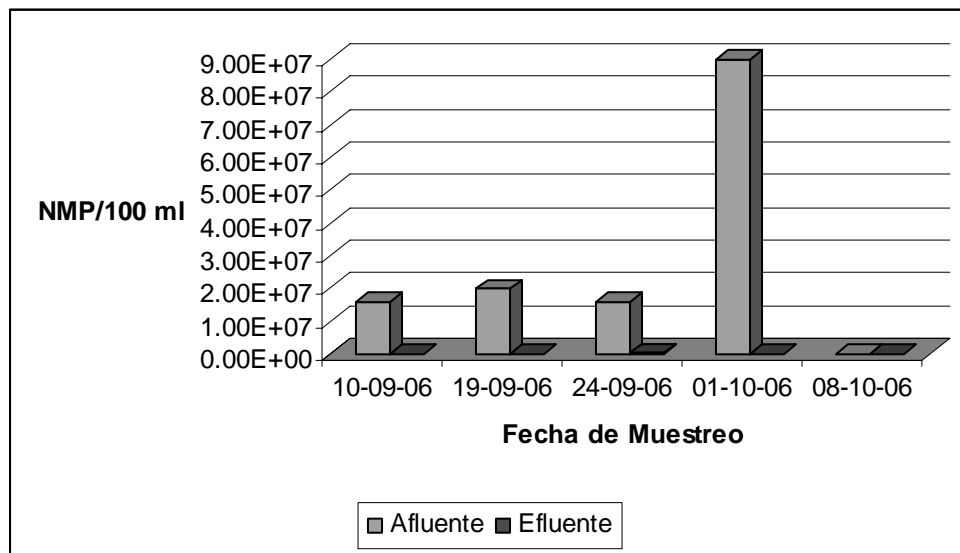


Fuente: Datos Experimentales.

NMP= Número Más Probable
ml= mililitros

En la gráfica 3 se observa la diferencia entre los resultados de *E. coli* en el afluente y efluente de la planta de tratamiento, durante la época de lluvia. Las barras indican un comportamiento muy similar en los primeros tres muestreos; sin embargo, en el muestreo del 01 de octubre se observa una disminución muy marcada en el efluente con relación al afluente, mientras que en el muestreo del 08 de octubre se observa que no hubo presencia de *E. coli* tanto en el afluente como en el efluente.

Gráfica No. 3 Determinación de *E. coli* en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa durante la época de lluvia del 2006.



Fuente: Datos experimentales.

NMP= Número Más Probable
ml= mililitros

2. Época seca:

En la **tabla No. 2** se presentan los resultados expresados en NMP/100mL de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* de las 5 muestras tomadas del afluente y las 5 muestras del efluente. El análisis de las dos variables (afluente vrs. efluente) muestra **que no existe diferencia significativa entre el agua que ingresa a la planta de tratamiento y el agua que egresa de la misma luego de su tratamiento.**

Tabla No. 2 Número más probable de coliformes totales, fecales y *E. coli* en época seca de el afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Estanzuela, Zacapa durante el 2006.

Análisis Microbiológico *									
Afluente					Efluente				
Fecha	No. Muestra	C. Totales	C. Fecales	<i>E. coli</i>	Fecha	No. Muestra	C. Totales	C. Fecales	<i>E. coli</i>
05/11/2006	M1 ¹	1.60x10 ⁰⁹	0.00X10 ⁰⁰	2.00X10 ⁰⁰	05/11/2006	M1 ¹	1.10X10 ⁰⁵	0.00X10 ⁰⁰	0.00X10 ⁰⁰
12/11/2006	M2	3.80X10 ⁰⁵	0.00X10 ⁰⁰	2.00X10 ⁰⁰	12/11/2006	M2	0.00X10 ⁰⁰	0.00X10 ⁰⁰	0.00X10 ⁰⁰
19/11/2006	M3	8.00X10 ⁰⁵	5.00X10 ⁰¹	5.00X10 ⁰¹	19/11/2006	M3	0.00X10 ⁰⁰	0.00X10 ⁰⁰	0.00X10 ⁰⁰
26/11/2006	M4	3.00X10 ⁰⁸	2.40X10 ⁰⁸	2.40X10 ⁰⁸	26/11/2006	M4	1.10X10 ⁰⁵	2.00X10 ⁰⁴	2.00X10 ⁰⁴
04/012/06	M5	6.80X10 ⁰⁵	0.00X10 ⁰⁰	2.00X10 ⁰⁰	04/012/06	M5	2.40X10 ⁰⁷	2.40X10 ⁰⁷	2.40X10 ⁰⁷
Limites**		NPL	NPL	NPL			NPL	1.0 x 10⁴	1.0 x 10⁴

Fuente: Datos Experimentales.

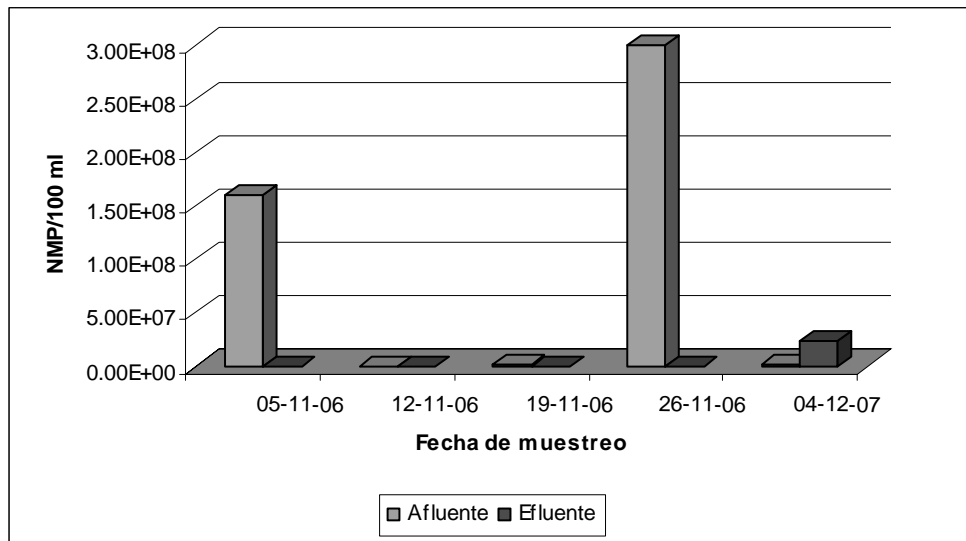
* Datos presentados en NMP/100 ml
M = microbiológico

** Limite según el Acuerdo Gubernativo 66-2005.
NPL= No Presenta Limites.

¹ = Corresponde al número de muestreo

En la gráfica 4 se observa la diferencia en la cantidad de coliformes totales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en época seca. Las barras muestran un comportamiento similar en los muestreos del 12 y 19 de noviembre, mientras que en los muestreos del 05 y 26 de noviembre los afluentes muestran un recuento elevado; en el muestreo del 04 de diciembre se observa que el recuento del efluente fue mayor que el del afluente.

Gráfica No. 4 Determinación de coliformes totales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en época seca del 2006.

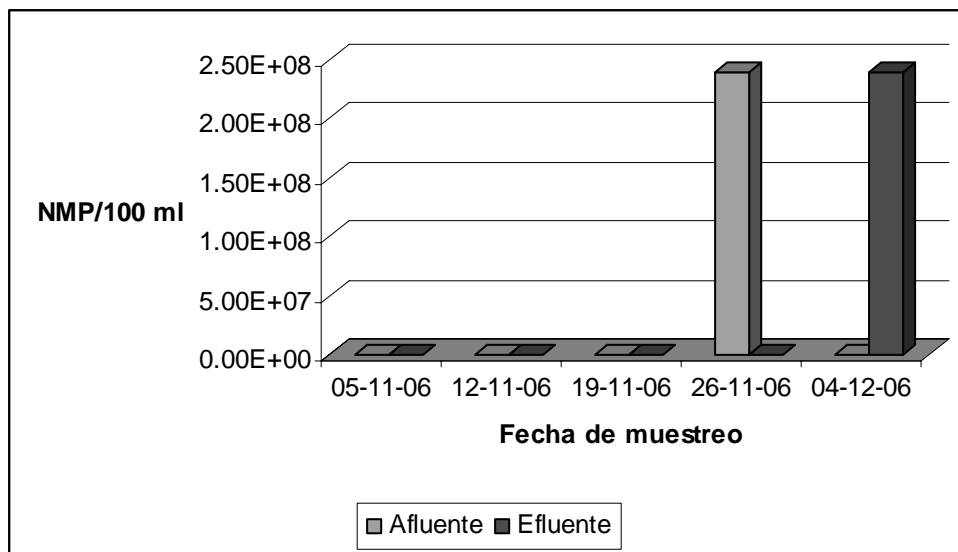


Fuente: Datos Experimentales.

NMP= Número Más Probable
ml= mililitros

En la gráfica 5 se observa el recuento de coliformes fecales en época seca, los primeros 3 muestreos fueron bajos tanto en el afluente como en el efluente; en comparación con el recuento del 26 de noviembre, donde el recuento fue mayor en el afluente. El muestreo del 04 de diciembre indica un aumento en el efluente.

Gráfica No. 5 Determinación de coliformes fecales en los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en época seca del 2006.

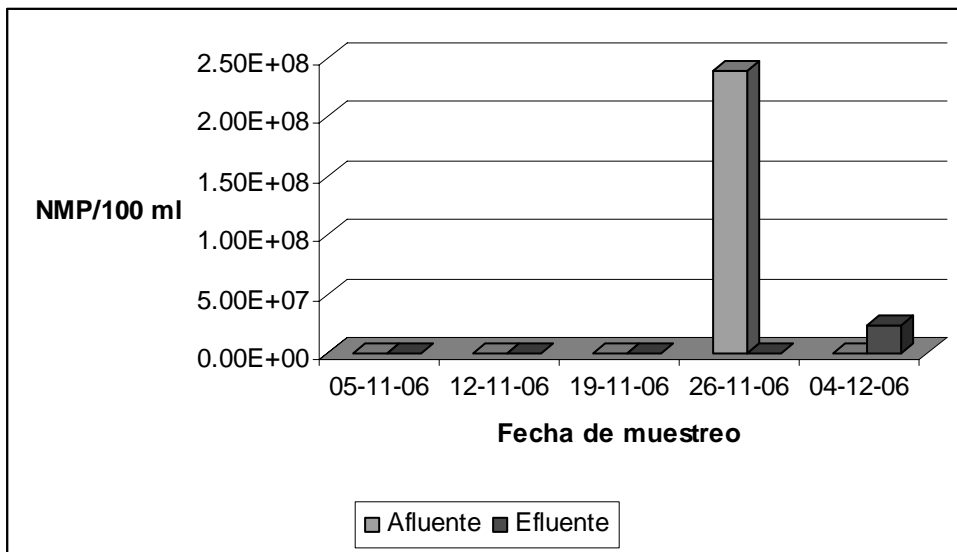


Fuente: Datos Experimentales.

NMP= Número Más Probable
ml= mililitros

En la gráfica 6 se muestra los resultados del recuento de *E. coli* en época seca, se observa que en los primeros tres muestreos no existe diferencia entre el afluente y efluente de la planta de tratamiento; sin embargo, se observa algo muy interesante en muestreo del 26 de noviembre y el muestreo del 04 de diciembre: en el primero el recuento fue bastante elevado en el afluente en comparación con el efluente y en el segundo el recuento en el efluente fue mayor que en el afluente.

Gráfica No. 6 Determinación de *E. coli* en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en época seca del 2006.

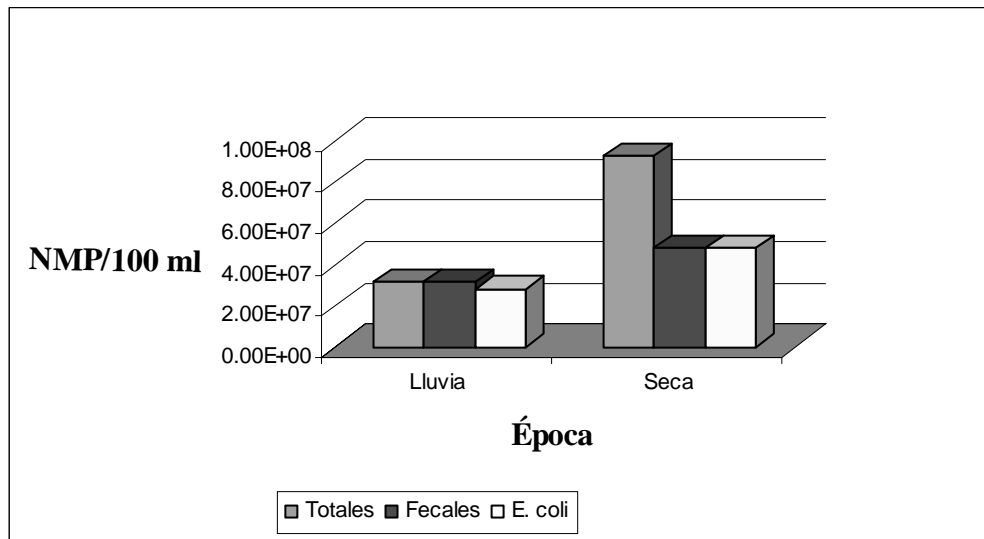


Fuente: Datos Experimentales.

NMP= Número Más Probable
ml= mililitros

En la gráfica 7 se observa que los recuentos de coliformes en el afluente durante la época de lluvia fueron menores en comparación con los recuentos obtenidos en época seca, observándose que el mayor recuento de coliformes fecales fue durante la época seca.

Gráfica No. 7 Comparación de los resultados de coliformes totales, fecales y *E. coli* del afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en época de lluvia y época seca.

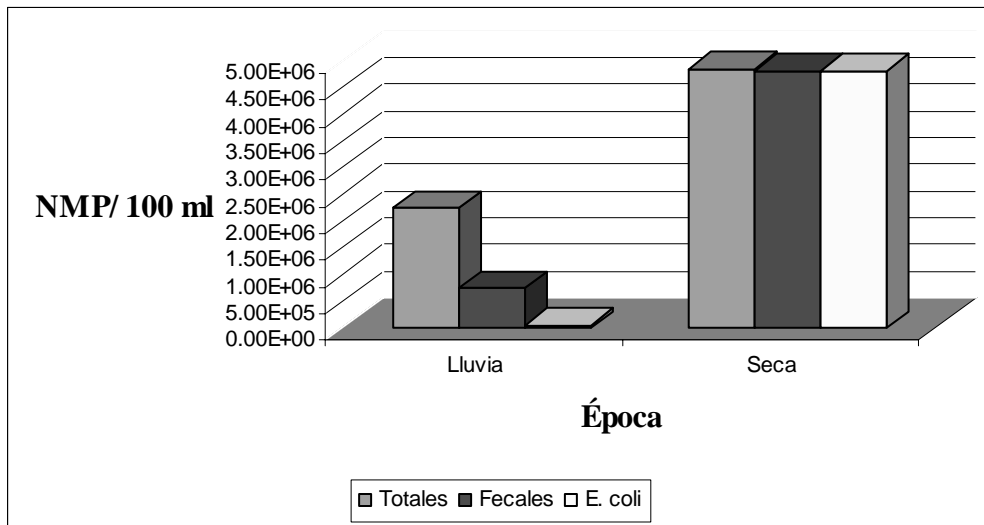


Fuente: Datos Experimentales.

NMP= Número Más Probable
ml= mililitros

En la gráfica 8 se observa que los recuentos de coliformes en el efluente durante la época de lluvia fueron menores en comparación con los recuentos obtenidos en época seca. No se encontró diferencia significativa entre los distintos parámetros evaluados en la época seca, mientras que en la época de lluvia si existe variabilidad de resultados.

Gráfica No. 8 Comparación de los resultados de coliformes totales, fecales y *E. coli* del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en época lluviosa y época seca.



Fuente: Datos experimentales

NMP= Número Más Probable
ml= mililitros

B. ANALISIS FISICOQUIMICO:

1. Época de Lluvia:

En la **tabla No. 3** se presentan los resultados expresados en mg O₂/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las 5 muestras tomadas del afluente y de las 5 muestras del efluente durante la época lluviosa. En ella se indican la temperatura y pH. El análisis de las dos variables (afluente vrs. efluente) muestran **que no existe diferencia significativa entre el agua que ingresa a la planta de tratamiento y el agua que egresa de la misma luego de su tratamiento.**

Tabla No. 3 Análisis de parámetros fisicoquímicos durante la época de lluvia del afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Estanzuela, Zacapa durante el 2006.

Análisis Fisicoquímico											
Afluente						Efluente					
Fecha	No.	°T	pH	DBO	DQO	Fecha	No.	°T	pH	DBO	DQO
	Muestra	°C		mg O ₂ /L	mg O ₂ /L		Muestra	°C		mg O ₂ /L	mg O ₂ /L
10/09/2006	F1 ¹	33	7,3	253	285	10/09/2006	F1 ¹	30	8,16	205	255
19/09/2006	F2	33	7,2	131	164	19/09/2006	F2	30	7,54	109	137
24/09/2006	F3	32	7,3	224	280	24/09/2006	F3	30	7,58	251	314
01/10/2006	F4	35	8,1	260	398	01/10/2006	F4	30	8,05	260	326
08/10/2006	F5	35	7,2	931	1164	08/10/2006	F5	30	7,24	931	1164
Limites*		NPL	NPL	NPL	NPL			TCR+/- 7°C	6 - 9	200	300

Fuente: Datos Experimentales.

* Limite según el Acuerdo Gubernativo 66-2005.

F= Fisicoquímico

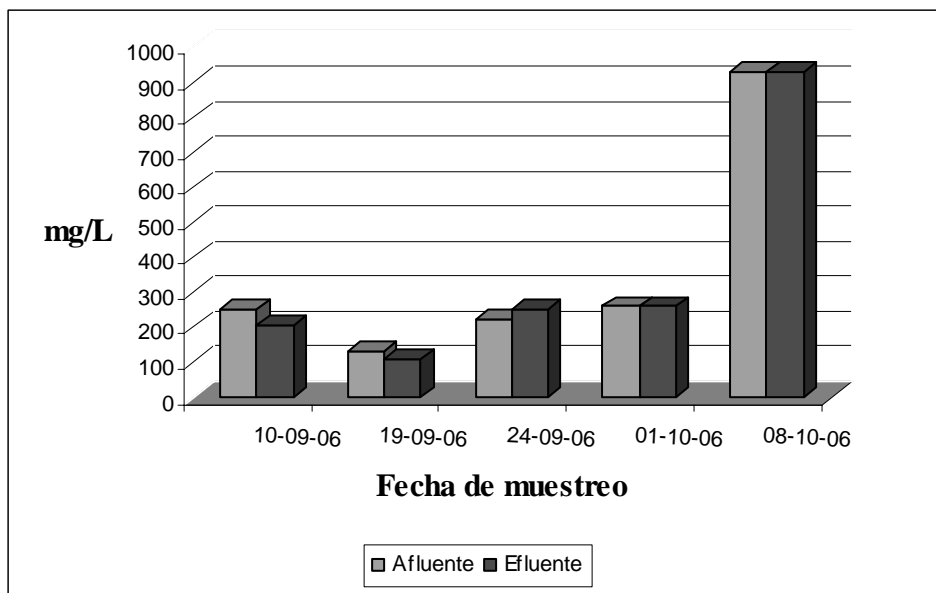
¹= Corresponde al número de muestreo

NPL= No presenta limites

TCR= Temperatura cuerpo receptor

En la gráfica 9 se observa el resultado de la determinación de la DBO₅ en el afluente y efluente de la planta de tratamiento en época de lluvia. Se evidencia un comportamiento similar en los primeros 4 muestreos; sin embargo en el muestreo del 08 de octubre se observa un aumento tanto en el afluente como en el efluente, con DBO₅ similares en ambos puntos.

Gráfica No. 9 Determinación de la DBO₅ del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa durante la época lluviosa del 2006.



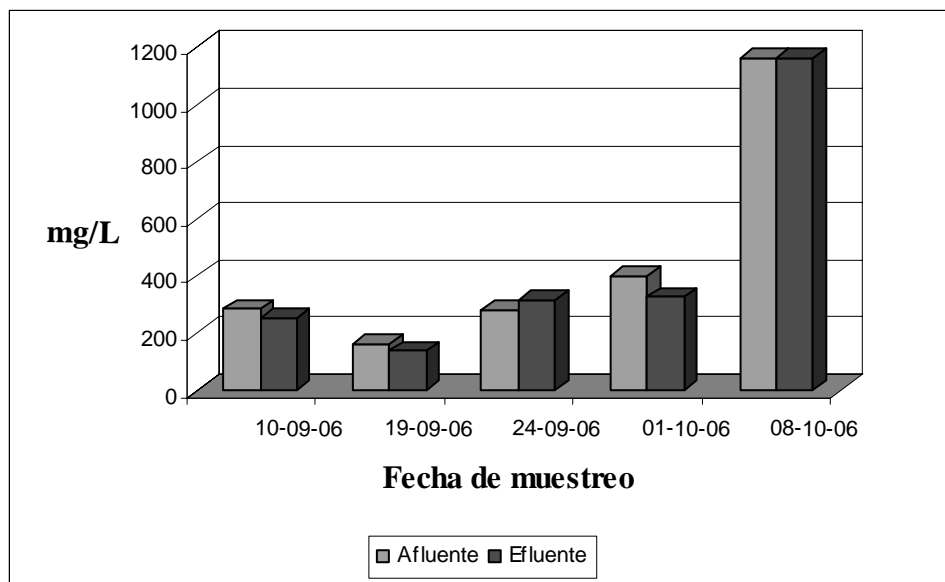
Fuente: Datos experimentales.

mg= miligramos

L= Litro

En la gráfica 10 se observa el resultado de la determinación de la DQO en el afluente y efluente de la planta de tratamiento en época de lluvia. Se observa un comportamiento similar en los primeros 4 muestreos, pero en el quinto muestreo (8 de octubre) se produce un aumento de la DQO, tanto en el afluente como en el efluente.

Gráfica No. 10 Determinación de la DQO del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa durante la época lluviosa del 2006.



Fuente: Datos experimentales.

mg= miligramos
L= Litro

2. Época seca:

En la **tabla No. 4** se presentan los resultados expresados en mg de O₂/L de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno de las 5 muestras tomadas del afluente y de las 5 muestras del efluente en época seca. También se indican la temperatura y pH. El análisis de las dos variables (afluente vrs. efluente) muestra **que no existe diferencia significativa entre el agua que ingresa a la planta de tratamiento y el agua que egresa luego de su tratamiento.**

Tabla No. 4 Análisis de los parámetros fisicoquímicos en época seca del afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Estanzuela, Zacapa durante el 2006.

Análisis Fisicoquímico											
Afluente						Efluente					
Fecha	No. Muestra	°T	pH °C	DBO mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L	Fecha	No. Muestra	°T °C	pH	DBO mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L
05/11/2006	F1 ¹	33	7,4	744	930	05/11/2006	F1 ¹	30	7,6	872	1090
12/11/2006	F2	33	7,4	317	396	12/11/2006	F2	30	8,2	444	556
19/11/2006	F3	32	7,4	317	396	19/11/2006	F3	30	7,8	272	340
26/11/2006	F4	33	7,4	318	398	26/11/2006	F4	30	8,7	309	386
04/012/06	F5	35	7,5	377	472	04/012/06	F5	32	8,8	269	336
Limites*		NPL	NPL	NPL	NPL			TCR+/- 7°C	6 - 9	200	300

Fuente: Datos Experimentales.

* Limite según el Acuerdo Gubernativo 66-2005.

F= Fisicoquímico

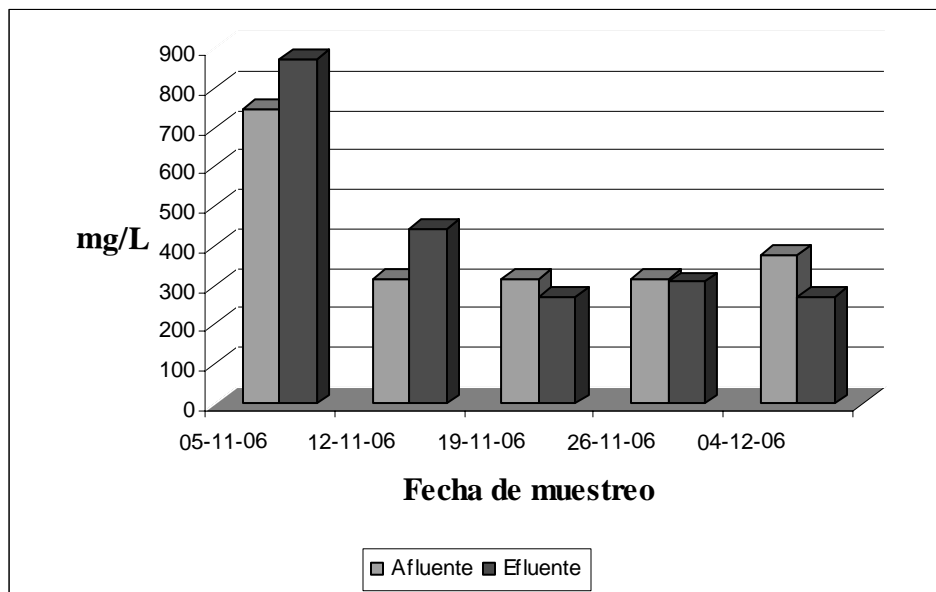
NPL= No presenta límites

¹= Corresponde al número de muestreo

TCR= Temperatura cuerpo receptor

En la gráfica 11 se observa el resultado de la determinación de la DBO₅ en el afluente y efluente de la planta de tratamiento en época de seca. Se observa un comportamiento similar en los últimos 4 muestreos, pero en el primer muestreo (05 de noviembre) se observa un aumento en el efluente en comparación con el afluente. Esta gráfica revela resultados interesantes debido a que se puede apreciar en los primeros dos muestreos resultados mayores en el efluente.

Gráfica No. 11 Determinación de la DBO₅ del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en época seca del 2006.

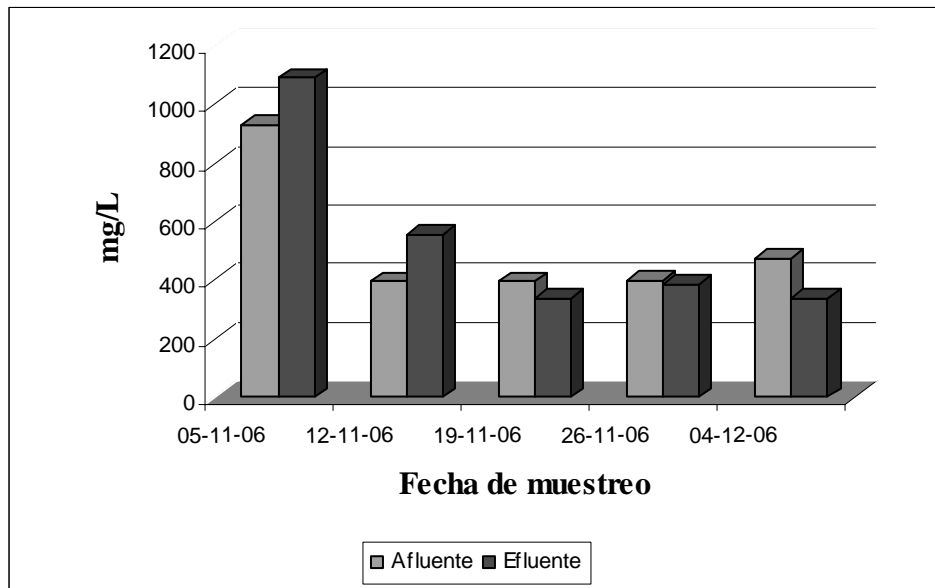


Fuente: Datos Experimentales.

mg= miligramos
L= Litro

En la gráfica 12 se observa el resultado de la determinación de la DQO en el afluente y efluente de la planta de tratamiento en época de seca. Se evidencia un comportamiento similar en los últimos 3 muestreos, pero en el primer muestreo (05 de noviembre) se observa un aumento en el efluente en comparación con el afluente. Esta gráfica revela resultados interesantes debido a que se puede apreciar en los primeros dos muestreos resultados mayores en el efluente.

Gráfica No. 12 Determinación de la DQO del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en época seca del 2006.

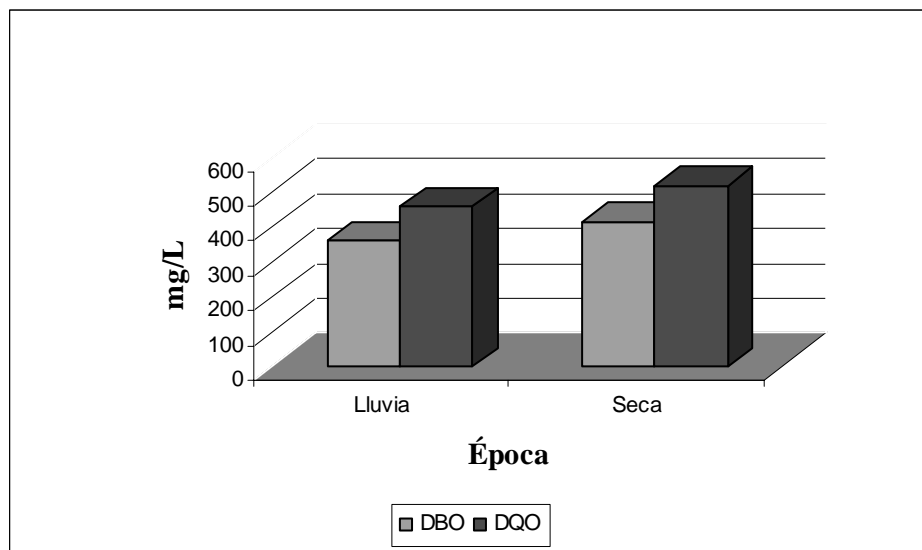


Fuente: Datos experimentales.

mg= miligramos
L= Litro

En la gráfica 13 se observa que los resultados de DBO₅ y DQO obtenidos en el afluente son muy similares tanto en época de lluvia como en época seca. Las barras indican que las determinaciones de la DQO fueron mayores en ambos casos respecto a la DBO₅.

Gráfica No. 13 Comparación de los resultados de la DBO₅ y la DQO del afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en base a época seca y época lluviosa.

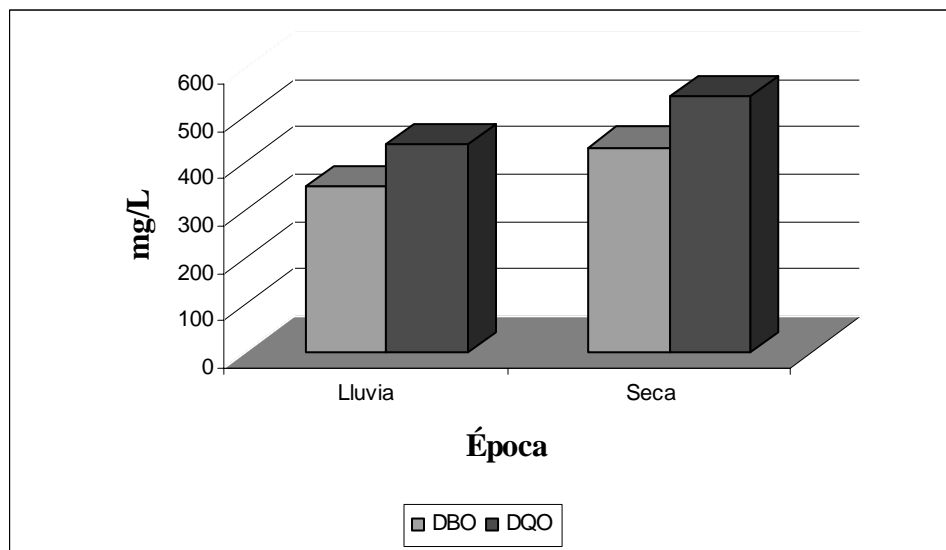


Fuente: Datos experimentales.

mg= miligramos
L= Litro

En la gráfica 14 se observa que los resultados obtenidos de DBO₅ y DQO en el efluente son muy similares tanto en época de lluvia como en época seca. Las barras indican que las determinaciones de la DQO fueron mayores en ambos casos respecto a la DBO₅.

Gráfica No. 14 Comparación de la DBO₅ y la DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa en base a época seca y época lluviosa.



Fuente: Datos experimentales.

mg= miligramos
L= Litro

X. DISCUSION DE RESULTADOS

La determinación de la eficacia de una planta de tratamiento es importante ya que el agua tratada generalmente es liberada en ríos, lagos o es utilizada para riegos y áreas recreativas, usos en los que se podría poner en riesgo la salud del ser humano. También es importante para optimizar su funcionamiento, así como para fomentar una cultura de cuidado del agua y máximo aprovechamiento de tan valioso recurso natural. Además existen normas en las que se establece que las plantas de tratamiento de aguas residuales deben de ser evaluadas cada cierto período de tiempo en el que los principales parámetros a analizar son coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli* y parámetros fisicoquímicos como la DBO y DQO principalmente (2,5,13).

El análisis de coliformes fecales y *E. coli* permite evaluar el impacto microbiológico de las aguas residuales analizadas, el grado de contaminación de las mismas y la incidencia. Al evaluar el recuento de coliformes totales, fecales y *E. coli* de las dos variables estudiadas (afluente y efluente) durante la época de lluvia, como se muestra en la tabla No. 1, se observa que no existe diferencia significativa entre el afluente y el efluente de la planta, lo que significa que la planta de Estanzuela, no cumple con los resultados esperados de calidad del agua residual durante esta época. Esto puede deberse a que durante esta época, el agua está en constante movimiento por la mezcla que produce la lluvia, evitando que se lleve a cabo adecuadamente el proceso de sedimentación, que es el único tratamiento que se efectúa en la planta. Si se analizan individualmente los datos, se puede observar que, en la mayoría de los casos, se obtuvo una ligera disminución en el recuento de coliformes totales, fecales y *E. coli*, pero estos recuentos no son significativos ya que siguen siendo mayores que los valores de referencia establecidos según el Acuerdo Gubernativo 66-2005, el cual es 1.0×10^4 NMP/100 ml (2,4).

En la tabla No. 2 del análisis microbiológico (época seca), los recuentos de coliformes totales, fecales y *E. coli* muestran que no existe diferencia significativa entre el agua que ingresa y el agua que egresa de la planta. Se puede apreciar que el recuento de coliformes totales, fecales y *E. coli* aumenta durante la época seca. Ésto puede deberse a que el agua

de lluvia se mezcla con el agua residual depositada en las lagunas de estabilización lo que provocaría una dilución de la misma y produciría recuentos más bajos en el efluente durante la época lluviosa (ver gráfica No. 7). Si se analiza por separado cada época, se puede observar que los resultados del efluente son menores que los obtenidos en el afluente; sin embargo, éstos son mayores que el valor de referencia establecido el cual es 1.0×10^4 NMP/100 ml, lo cual se puede observar en las tablas No 1 y 2 y en las gráficas 1 a 8 sección de resultados. Tomando en cuenta estos resultados se concluye que la planta no cumple con los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 66-2005 (2).

La determinación de la DBO_5 es uno de los parámetros más importantes de calidad de agua ya que revela la cantidad de materia orgánica que puede ser biodegradada por los microorganismos presentes en el agua analizada. Este parámetro, como indica la tabla No. 3, revela que no existe diferencia significativa de disminución entre el afluente y el efluente, por lo que la planta no está cumpliendo su función. Aunque en los primeros muestreos efectuados en el efluente revelan una ligera disminución en el análisis de la DBO_5 al comparar estos datos contra el valor de referencia establecido en Acuerdo Gubernativo 66-2005, ésta no es relevante. Por otro lado, en los restantes tres muestreos se observa que no existe diferencia entre el afluente y el efluente; y se puede apreciar que en dos de los muestreos los datos obtenidos son los mismos para ambos puntos. Ésto puede deberse a que la planta no tiene establecido un programa de tratamiento de lodos, por lo que puede existir arrastre de los mismos durante la época de lluvia. La caída constante de agua provoca una mezcla del agua reposada, la cual debería mantener esta condición para que se realice el proceso de sedimentación, que es el único tratamiento que se lleva a cabo en esta planta (2,24).

Al evaluar la DBO_5 durante la época seca, se aprecia en los dos primeros muestreos un leve aumento en el efluente. Esto se puede observar en la tabla No. 4 y gráfica No. 11, mientras que en los tres muestreos restantes se evidencia una ligera disminución, pero que no es significativa. Los resultados muestran que los niveles de DBO_5 son superiores al valor de referencia establecido en el Acuerdo Gubernativo 66-2005. Ésto significa que la

planta en realidad descarta el agua residual con la misma o más intensidad de contaminación con que ingresa. Debe mencionarse que la planta no recibe ningún mantenimiento para optimizar su funcionamiento y que el agua tratada no recibe ningún tratamiento físico o químico adicional antes de la evacuación a su destino final. Por otro lado, tampoco se está manejando un tratamiento adecuado de lodos, por lo que puede existir arrastre de sedimentos, lo que provoca una mala calidad del efluente. (13,24).

Al evaluar la DQO se puede apreciar que al comparar el afluente con el efluente durante la misma época, se presenta el mismo patrón que para la demanda bioquímica de oxígeno. Es decir, que existen valores más bajos en el efluente que el afluente, durante la época de lluvia, pero sin que haya diferencia significativa. Además se puede observar que los valores en la mayoría de los muestreos son mayores que el valor de referencia establecido, tanto en el afluente como en el efluente, como se aprecia en la tabla No. 3 y gráfica No. 10. La causa de esto, como se ha mencionado anteriormente, puede tener su origen en el agua de lluvia, que provoca una mezcla constante en el agua reposada en las lagunas de estabilización, interrumpiendo el proceso de sedimentación y provocando el arrastre de lodos. De esta manera se provoca un funcionamiento inadecuado de la planta de tratamiento y por lo tanto el efluente no cumple con la calidad de agua tratada.

Durante la época seca, en la determinación de la DQO (ver tabla No. 4 y gráfica No.12) tanto en afluente como en el efluente, se aprecia un aumento en las primeras dos determinaciones y una disminución en las tres restantes, pero esta disminución no es relevante debido a que no cumple con el valor de referencia establecido. Ésto puede deberse a que la planta no recibe un mantenimiento adecuado (no se realiza una evaluación periódica de la infraestructura de la misma, ni tratamiento de lodos, ni tratamiento físico o químico adicional al proceso de sedimentación antes de evacuar el efluente para ser llevado a su destino final). Este tipo de mantenimiento ya ha sido estudiado por su importancia biológica y su aplicación para la reutilización del agua (21,24).

Es importante mencionar que el análisis en conjunto de los datos para cada parámetro estudiado, no muestra diferencia significativa entre el afluente y el efluente; sin embargo en alguno de los muestreos realizados, los datos muestran una disminución muy cercana al 20%, como se aprecia en las gráficas N. 9 y No. 11. Según la literatura se espera, hasta un 30% de reducción de la DBO_5 en los efluentes en un tratamiento primario. Si se evalúan los datos por separado en la determinación de la DBO_5 , tanto en época lluviosa como época seca, se puede observar que la diferencia entre afluente y efluente no alcanza ni el 20% en los casos en que si hay disminución. Con base a esto y al Acuerdo Gubernativo 66-2005, para descarga de aguas residuales a cuerpos receptores, estos resultados no cumplen con lo establecido para que el agua sea reutilizada, porque pondría en riesgo la salud de las personas que la beban o que consuman productos regados con ésta (2,19,21).

Una comparación importante son los datos presentados en las gráficas No. 7 y 8 (análisis microbiológicos), así como en las 13 y 14 (análisis fisicoquímicos), donde se comparan los resultados durante la época lluviosa y la época seca para el afluente y efluente. Estas muestran que existe diferencia entre los datos obtenidos, siendo más bajos en la época de lluvia que en la época seca, tanto en el afluente como en el efluente. Esto puede deberse a que el agua de lluvia fue acumulada con el agua reposada en las lagunas, provocando una alteración en el proceso de sedimentación. Aunque la diferencia no es significativa, los valores durante la época de lluvia fueron más bajos que en la época seca, y son mayores que los parámetros establecidos para descarga de aguas tratadas.

XI. CONCLUSIONES

- No existe diferencia significativa en los resultados obtenidos para coliformes totales, fecales y *E. coli* después del proceso de sedimentación en la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa, al analizar el afluente y efluente, tanto en época lluviosa como en época seca.
- No existe diferencia significativa en los resultados obtenidos en la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), después del proceso de sedimentación, al analizar el afluente y el efluente en época lluviosa y época seca.
- Los recuentos de coliformes totales, fecales y *E. coli* sobrepasan los valores de referencia establecidos en el Acuerdo Gubernativo 66-2005 para aguas residuales.
- Las determinaciones de DBO y DQO sobrepasan los valores de referencias establecidos en el acuerdo gubernativo 66-2005 para aguas residuales.
- Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, no cumple con las condiciones para que el agua post-tratamiento sea utilizada para consumo y riego de cultivos por su nivel de contaminación.

3. RECOMENDACIONES

- Los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa no deben ser reutilizados por su baja calidad microbiológica.
- Realizar análisis periódicamente de la planta para mejorar y optimizar su funcionamiento.
- Llevar a cabo cursos de capacitación sobre procesos de control, manejo y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales para el personal que opera la misma.
- Establecer un mayor tiempo de retención del agua que ingresa a la planta para una mejor calidad de afluentes.
- Realizar un estudio sobre lodos provenientes de la planta y del tratamiento que se aplica a los mismos.
- Establecer un programa de mantenimiento de la planta para mejorar y conservar la calidad de la infraestructura de la misma.
- Dar a conocer a la comunidad los posibles reusos para los que pueden ser utilizadas las aguas residuales, siempre que estas sean tratadas adecuadamente y cumplan con los parámetros establecidos por la ley.
- Mejorar las condiciones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa para obtener mejor calidad de efluentes.

XIII. REFERENCIAS

1. Rodríguez, J., Sánchez, E. “Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Panajachel, Sololá”. Guatemala: Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería). 2001. 80p.
2. Reglamento de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores. Acuerdo Gubernativo 66-2005. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 17 Feb 2005. 10p.
3. Carballo, M. *et al.* “Valoración de las Aguas Residuales Mediante Procedimientos Analíticos y Biológicos”. Rev. Salud Ambient 2002. 2:32-36. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/cd27carballo.pdf>
4. Reynolds, N. “Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica; Identificación del Problema” –CEPIS- Agua Latinoamérica 2002. 4p. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/cd/cd27/reynols.pdf>
5. Espinoza, P. *et al.* “Gestión Ambiental de la Universidad de Granada”. Rev Salud Ambient 2001:79-86. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacdc/cd29/granada.pdf>
6. Delmonte, D. “Estudio Preliminar de la Calidad de las Aguas y los Vertidos Industriales en la Ciudad de Libertad (San José)”. Uruguay: Programa de Gestión Ambiental-UCU-CLAEH-. Doc. Tec. Disponible en: <http://www.aqfu.org.uy>
7. Murillo, J. Peinador, M. “Enteroparásitos”; Detección y Vigilancia en Aguas Residuales. Instituto Costarricense de Acuerdos y Alcantarillados, Doc Tec. Laboratorio Nacional de aguas. 2000.6p.
8. Bradford, A., Brock, R., Hunshal, C. “Reducción de Riesgos del Uso de Aguas Residuales para la Agricultura en Hubli-Dharward, India”. Rev. Agricultura Urbana 2002:36-37. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/cd51/riesgos-reduccion.pdf>
9. Moscoso, J., León, G. HDT 59: Uso de Aguas Residuale. –CEPIS-Organización Mundial de la Salud (OMS), Doc. Tec. 1994.8p.

10. Castro, *et al.* “Reutilización de Aguas Residuales Depuradas Procedentes de la E.D.A.R. de Albacete (S.E. España) en Cultivos Hortícolas”. España: Universidad de Castilla-La Mancha. E.T.S.I.A. Albacete. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/cd27/hortícolas.pdf>
11. Alvarez, B. *et al.* “Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales por Aplicación al Suelo”. Avance y Perspectiva 2002. 21:333-339. Disponible en: sm_contreras@yahoo.com.mx
12. Informe Técnico: Municipalidad de Estandzuela, Zacapa. Caracterización del Municipio de Estandzuela Departamento de Zacapa, Doc. Tec. 2003. 27p.
13. Referencia Personal: Municipalidad de Estandzuela, Zacapa. Sistema Integrado de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domésticas para Riego de Cultivos Permanentes en el Municipio de Estandzuela, Zacapa, Doc. Tec. 2003. 40p.
14. Oakley, SM. Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras; Las Expectativas de Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Tegucigalpa, Honduras: Red Nacional de Agua y Saneamiento de C.A., 1998. 28-30p.
15. Mancilla, M. “Utilización de un Biodigestor Anaerobio para la Reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas de Desecho de una Planta Industrial Alimenticia”. Guatemala: Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). 1998. 32p.
16. Metcalf & Eddy. “Ingeniería de Aguas Residuales: tratamiento, vertido y reutilización. México: McGraw Hill, 1995.650p.
17. Salazar, W. Inicio de Operación y Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sanarate, El Progreso. Guatemala: Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería). 1999. 85p.
18. Nemerrow, N. “Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos”. México: Ed. Díaz de Santos, 1998. 350p.
19. Miyares, M. Determinación de Coliformes y Helmintos en aguas afluentes y efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales, Nimajuyu 1 Zona 21. Guatemala: Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). 1998. 34p.

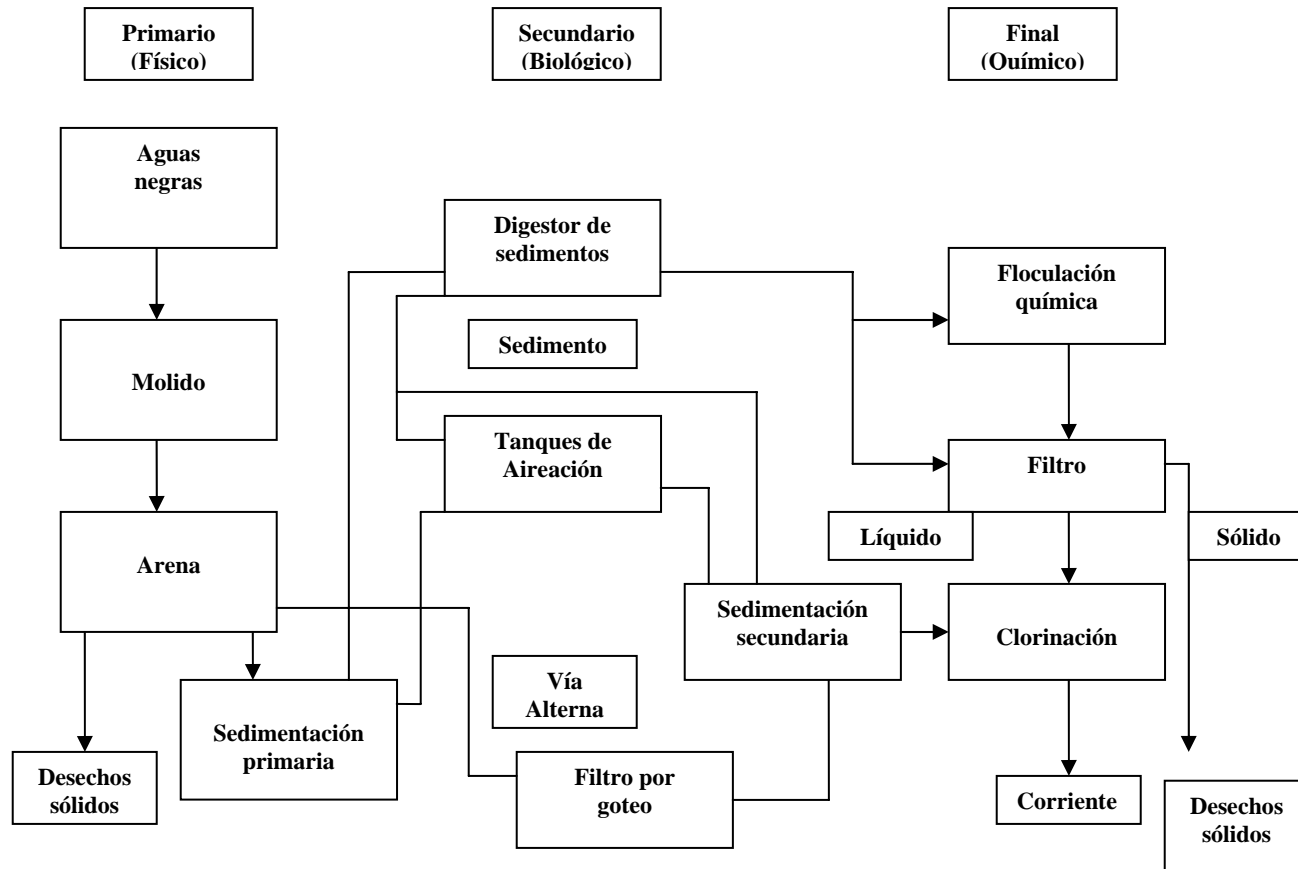
20. Prescott, L., Harley, J., Klein, D. "Microbiología; Los Microorganismos y el Ambiente". México: McGraw Hill Interamericana, 1999. 594p.
21. Atlas, R. "Microbiología: Fundamentos y Aplicaciones". México: CECSA, S.A. de D.V., 1990. 887p.
22. Metcalf H. "Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización". Vol I. 3ª. Ed. México: McGraw Hill, 1996. 738p.
23. Instituto de Fomento Municipal-INFOM-. "Alcantarillado Sanitario (+) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales". Guatemala: Doc. Tec., 1995.36p.
24. Martínez, A., Guzmán, N. Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento las aguas residuales domésticas en la Base Militar No. 10 de Jutiapa, Colonia Militar de Jutiapa, Base Aérea del Sur en Retalhuleu y Escuela Politécnica en San Juan Sacatepéquez. Guatemala: Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 2003. 103p.
25. Ramírez, M. Evaluación de parámetros físicos y químicos de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de el Barrios El Cangrejal, Municipio de Puerto Barrios, Departamento de Izabal. Guatemala: Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 2003. 105p.
26. Leon Suematsu, Guillermo. "Impacto Ambiental de los Proyectos de Uso de Aguas Residuales". Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CEPIS/OPS 2002, 6p. Disponible en:
<http://www.cepis.org.pe/bvsacd/aya/tema06.pdf>
27. Moscoso, J., Egocheaga, L. "Sistema Integrado de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina; Realidad y Potencial". Universidad de Passo Fundo. Uso da agua na agricultura Passo Fundo –UPF-. 2004. 12p. Disponible en:
<http://www.cepis.ops-oms.org/cgi-bin/wxis.exe/iah/>
28. Mososo, J. "Aspectos Técnicos de la Forestación con Aguas Residuales. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CSPIS/OPS, 2002.7p. Disponible en:
<http://www.cepis.org.pe/bvsacd/aya/tema08.pdf>

29. León, G. Parámetros de Calidad para el Uso de Aguas Residuales; Guías de Calidad de Efluentes para la Protección de la Salud. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CEPIS/OPS, 2002,12p. Disponible en:
<http://www.cepis.org.pe/bvsacd/aya/tema04.pdf>
30. Lewis, G., Matias, R. Análisis de la situación del manejo de desechos sólidos municipales en el área urbana del Municipio de Coatepequé, Quetzaltenango. Guatemala: Universidad de San Carlos (Tesis de graduación, Facultad de Ingeniería). 2005. 203p.
31. Informe Técnico: Declaración de los alcaldes y autoridades locales sobre el agua. Cuarto Foro Mundial del Agua de México. Propuesta por Comisión de Agua y Saneamiento de CGLU. 2006.2p.
32. Prats, D. conceptos generales sobre Reutilización: calidad del agua y usos posibles. Universidad de Sevilla. 2002. 9p. Disponible en:
<http://www.cepis.org.pe/bvsacd/cd25/prats.pdf>
33. Dávila, J.”Análisis Ambiental de Estanzuela Zacapa; Factores Psicológicos, Factores Ecológicos, Factores Ambientales”, Guatemala: Universidad Mariano Gálvez. Doc. Tec., Facultad de Arquitectura. 20p.
34. Inserto “Técnica de Fermentación en Tubos Múltiples”. Medio de cultivo, caldo LMX. MERCK. 2p.
35. Manual de Procedimientos de Operación Estándar (POES). Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos –LAFYM-. 85p.

XI. ANEXOS

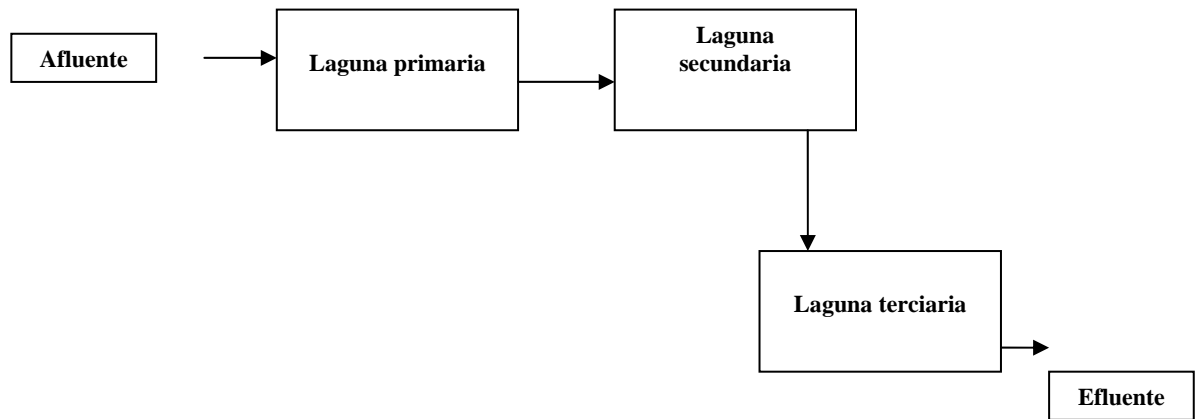
Anexo No. 1

Grafica No. 1 Diferentes etapas en el tratamiento de las aguas residuales. El tratamiento primario es principalmente físico, el secundario, principalmente biológico y el terciario, principalmente químico.



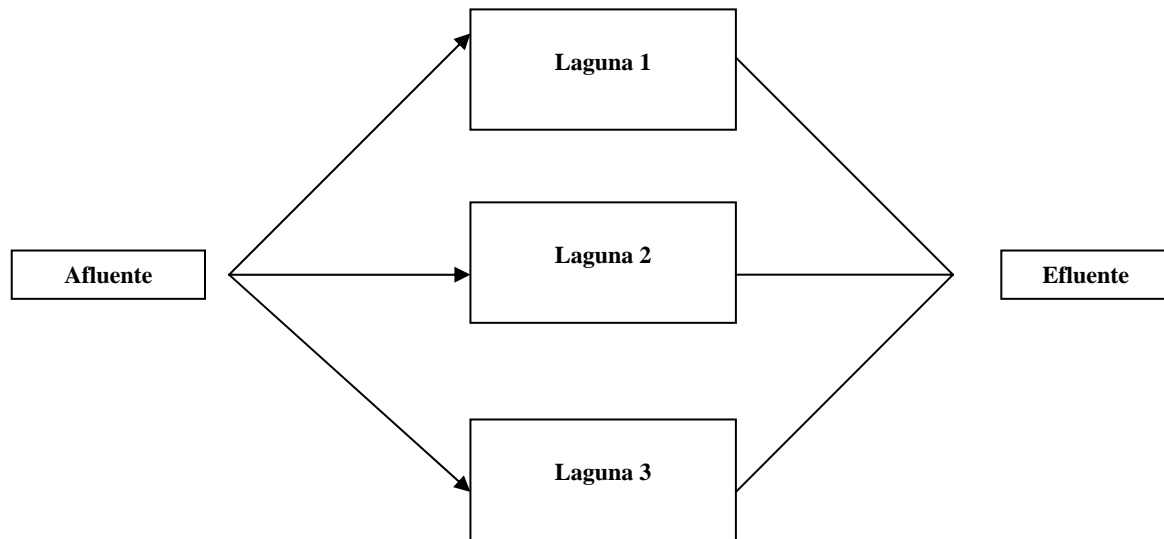
Fuente: Prescott, L. et al. (20).

Anexo No. 2
Grafica No. 2 Lagunas en Serie



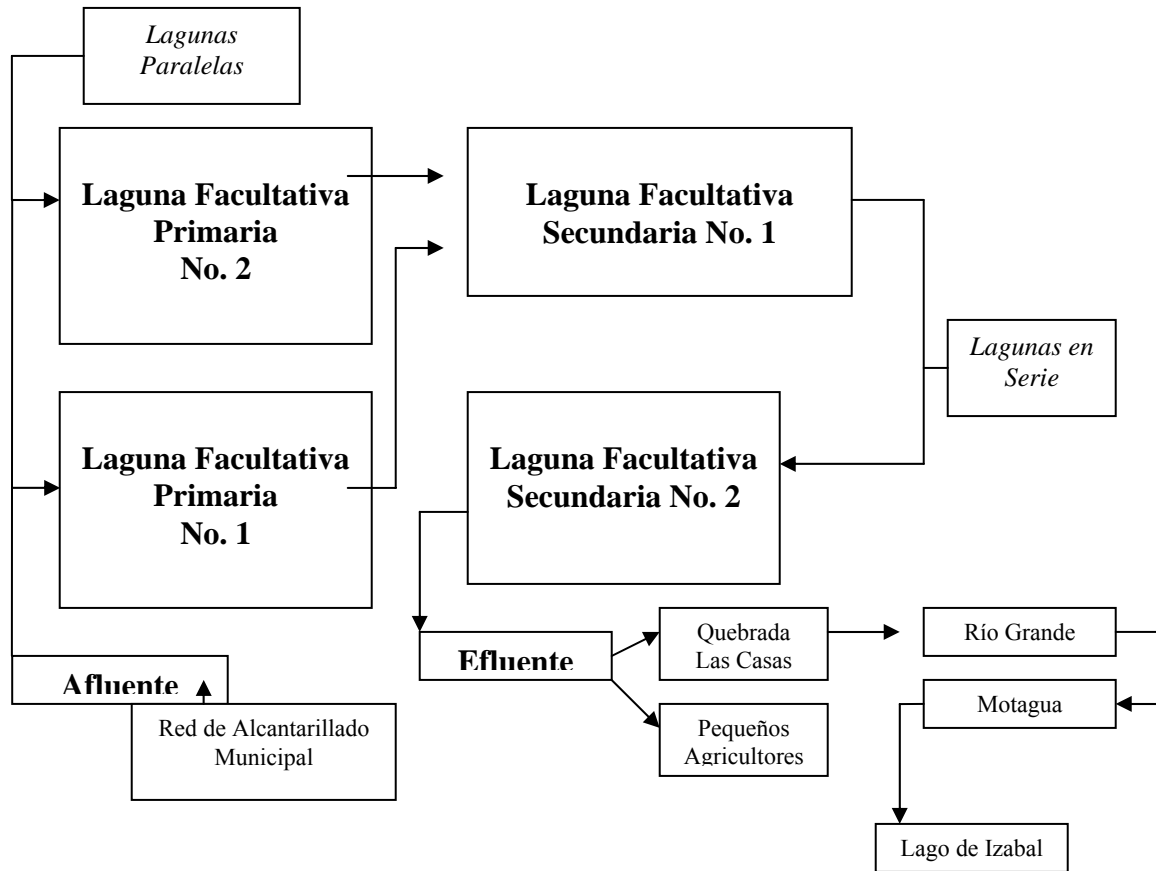
Fuente: Prescott, L. et al. (20).

Anexo No. 3
Grafica No. 3 Lagunas en paralelo.



Fuente: Prescott, L. et al. (20).

Anexo No. 5.
Grafica No. 4 Planta de tratamiento de Estanzuela.



Anexo No. 6.

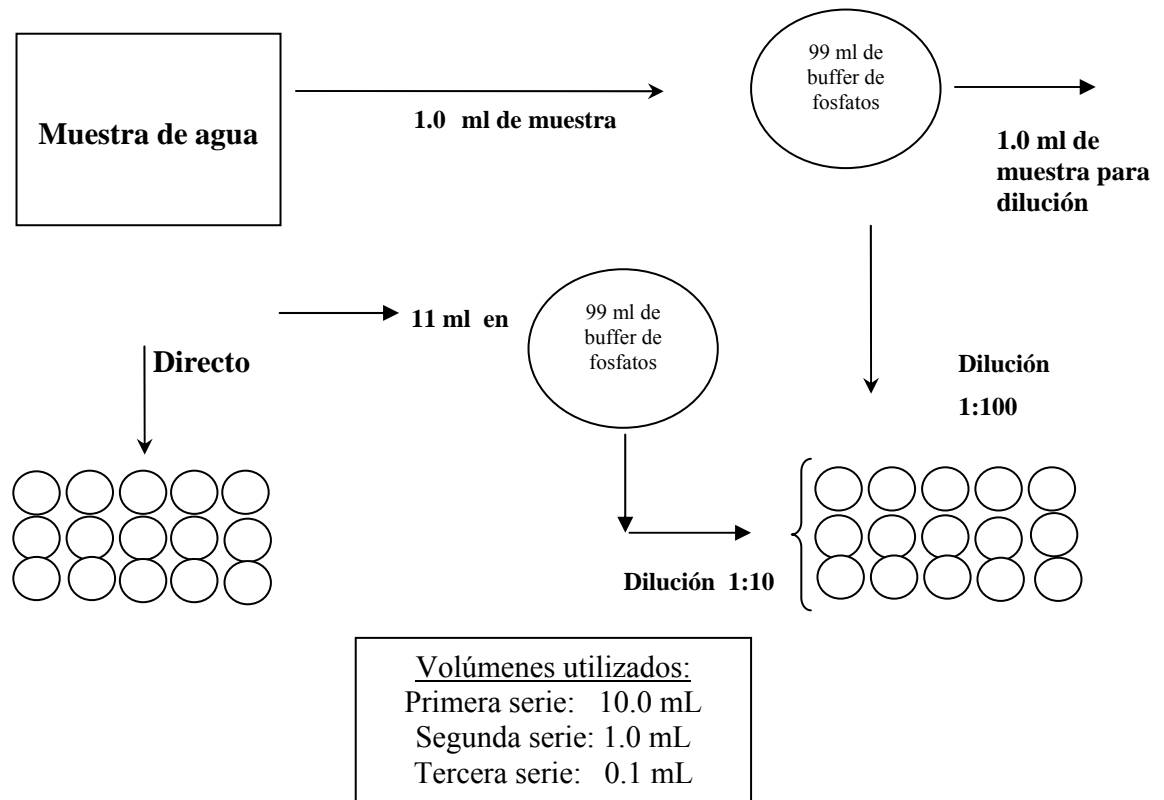
Cuadro No. 2: Preparación del caldo LMX

Inóculo en mL	Cantidad de medio por tubo en mL	Volumen de medio mas inóculo en mL	Caldo Lauril Triptosa deshidratado requerido en g/L
1	10 o mas	11 o mas	35.6
10	10	20	71.2
10	20	30	53.4
20	10	30	106.8
100	50	150	106.8
100	35	135	137.1
100	20	120	213.6

Fuente: Manual de Procedimientos Estándar (POES) -LAFYM- (35)

Anexo No. 7.

Gráfica No.4 Preparación de diluciones



Fuente: Manual de Procedimientos Estándar (POES) -LAFYM- (35)

Anexo No. 8.

Tabla No. 3 Rangos de medida y recolección correcta de los valores del volumen de la muestra y factor.

Volumen de muestra (ml)	Rango de medida (mg/L)	Factor
432	0 – 40	1
365	0 – 80	2
250	0 – 200	5
164	0 – 400	10
97	0 – 800	20
43.5	0 – 2000	50
22.7	0 – 4000	100

Fuente: Manual de Procedimientos Estándar (POES) -LAFYM- (35)

Anexo No. 10. Bitácora de datos de recolección de muestras para la determinación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Estanzuela, Zacapa.

Punto de Muestreo	Fecha de Muestreo	ID de Muestra	T°C	Hora de Muestreo	Intensidad de lluvia
Pto. # 1	10/09/2006	P1F1	33	11:00 AM	+
Pto. # 2	10/09/2006	P2F1	30	11:00 AM	+
Pto. # 1	10/09/2006	P1M1	33	11:00 AM	+
Pto. # 2	10/09/2006	P2M1	30	11:00 AM	+
Pto. # 1	19/09/2006	P1F2	33	11:00 AM	+
Pto. # 2	19/09/2006	P2F2	30	11:00 AM	+
Pto. # 1	19/09/2006	P1M2	33	11:00 AM	+
Pto. # 2	19/09/2006	P2M2	30	11:00 AM	+
Pto. # 1	24/09/2006	P1F3	32	11:00 AM	+++
Pto. # 2	24/09/2006	P2F3	30	11:00 AM	+++
Pto. # 1	24/09/2006	P1M3	32	11:00 AM	+++
Pto. # 2	24/09/2006	P2M3	30	11:00 AM	+++
Pto. # 1	01/10/2006	P1F4	35	11:00 AM	++
Pto. # 2	01/10/2006	P2F4	30	11:00 AM	++
Pto. # 1	01/10/2006	P1M4	35	11:00 AM	++
Pto. # 2	01/10/2006	P1M4	30	11:00 AM	++
Pto. # 1	08/10/2006	P1F5	35	11:00 AM	++
Pto. # 2	08/10/2006	P2F5	30	11:00 AM	++
Pto. # 1	08/10/2006	P1M5	35	11:00 AM	++
Pto. # 2	08/10/2006	P2M5	30	11:00 AM	+
Pto. # 1	05/11/2006	P1F1	33	11:00 AM	-
Pto. # 2	05/11/2006	P2F1	30	11:00 AM	-
Pto. # 1	05/11/2006	P1M1	33	11:00 AM	-
Pto. # 2	05/11/2006	P2M1	30	11:00 AM	-
Pto. # 1	12/11/2006	P1F2	33	11:00 AM	-
Pto. # 2	12/11/2006	P2F2	30	11:00 AM	-
Pto. # 1	12/11/2006	P1M2	33	11:00 AM	-
Pto. # 2	12/11/2006	P2M2	30	11:00 AM	-
Pto. # 1	19/11/2006	P1F3	32	11:00 AM	-
Pto. # 2	19/11/2006	P2F3	30	11:00 AM	-
Pto. # 1	19/11/2006	P1M3	32	11:00 AM	-
Pto. # 2	19/11/2006	P2M3	30	11:00 AM	-
Pto. # 1	26/11/2006	P1F4	33	11:00 AM	-
Pto. # 2	26/11/2006	P2F4	30	11:00 AM	-
Pto. # 1	26/11/2006	P1M4	33	11:00 AM	-
Pto. # 2	26/11/2006	P1M4	30	11:00 AM	-
Pto. # 1	04/12/2006	P1F5	35	11:00 AM	-

Pto. # 2	04/12/2006	P2F5	32	11:00 AM	-
Pto. # 1	04/12/2006	P1M5	35	11:00 AM	-
Pto. # 2	04/12/2006	P2M5	32	11:00 AM	-

Fuente: Datos Experimentales.

Clave: Pto.=Punto, P=punto, F= Fisicoquímico, M=Microbiológico

Br. Flor de María Urzúa Navas
Estudiante

Licda. Ana Rodas de García
Asesora

