



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**PRESENCIA DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES EN AGUA Y
SEDIMENTO DEL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R A Q U Í M I C A

P R E S E N T A

RAQUEL DOMÍNGUEZ MARTÍNEZ



MÉXICO, D.F.,

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Profesor: Víctor Manuel Luna Pabello

VOCAL: Profesor: María Del Carmen Urzúa Hernández

SECRETARIO: Profesor: Georgina Fernández Villagómez

1er. SUPLENTE: Profesor: María de los Ángeles Vargas Hernández

2º. SUPLENTE: Profesor: Martha Giles Gómez

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

Aseror del tema:

Dra. Georgina Fernández Villagómez

Sustentante:

Raquel Domínguez Martínez

AGRADECIMIENTOS:

A MIS PADRES:

Hermelindo Domínguez y Josefina Martínez, los amo. Tantas cosas que agradecerles papis : su infinito amor y apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida. Gracias por su confianza y el esfuerzo que día con día realizaron para darme la mejor educación, su entusiasmo y cariño me ayudaron a alcanzar este objetivo. Gracias por todo lo que han hecho por mi, por la paciencia que han tenido conmigo y por ser los mejores padres, por aguantar tantos corajes que los he hecho pasar, por ese ejemplo de humildad, de fortaleza y de amor, espero el día de mañana poder compensar todos los sacrificios que han hecho por mi. Sin duda alguna son los mejores padres que pude haber tenido. Los amo, GRACIAS

A MIS HERMANAS:

Adriana, Miriam y Maira, gracias por se mis amigas y estar siempre conmigo, cuidarme y darme mucho amor. Gracias por todo el apoyo y confianza que me han dado, realmente he aprendido mucho de ustedes, gracias por regalarme la dicha de conocer a mis sobrinos Adrian, Denisse, Omar y Febe porque siempre que necesito una sonrisa de alguien están ellos para dármela y recordarme que no pasa nada que la vida es bella, recuerden que los amo y que son muy importantes para mi.

Gracias por siempre estar al pendiente de mi, les agradezco su cariño, los regaños, las platicas, su paciencia y comprensión, pero sobre todo por aquellos momentos que me hacen sentir que no estoy sola y que ustedes siempre van a estar ahí, tengan por seguro que yo siempre voy a estar para ustedes, espero nunca defraudarlas, no olviden que las amo y que siempre vamos a estar juntas.

Realmente tengo una familia hermosa los amo. Gracias

A MIS AMIGOS:

FLOR Y ALONDRA, las quiero mucho, gracias por su amistad y apoyo, siempre que las necesito ahí están sin pretextos, para escucharme, reírnos y hasta llorar, son muy especiales para mi. Gracias por ser mis mejores amigas, con ustedes siempre hay algo nuevo que aprender y algo que contar, gracias por todos los momentos que vivimos juntas y porque junto a ustedes he aprendido a disfrutar la vida. Gracias.

Virginia, Karen, Joel, Alejandro, Gerardo, Kike, Sergio, Moni, Víctor, Norma, Panfis, Hugo, Lian, gracias por ser mis amigos y por el apoyo que cada uno de ustedes me ha brindado no lo olvidaré nunca. Todos los momentos que he pasado con ustedes han sido especiales y he aprendido cosas que no olvidaré y siempre llevaré su recuerdo en mi corazón. Espero no dejarlos de ver y que sigamos siendo amigos, los quiero mucho.

Erick, gracias por ser antes que nada mi amigo y por haber influenciado mi vida para bien, realmente fuiste parte importante para llegar hasta aquí. Gracias por tu ejemplo y por tu apoyo, ya sabes que te quiero mucho. Gracias

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme dado la oportunidad de tener la mejor educación en Ingeniería Química del país y con toda seguridad los mejores recuerdos de mi juventud.



ÍNDICE

Lista de figuras.....	3
Lista de tablas.....	4

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación.....	6
1.2 Objetivos.....	7

CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Bosque De San Juan De Aragón.....	9
2.2 Lago de San Juan de Aragón.....	10

CAPÍTULO 3 PARÁMETROS DE CALIDAD

3.1 Técnicas microbiológicas.....	14
3.2 Parámetros físico-químicos.....	23

CAPÍTULO 4 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

4.1 Lodos activados.....	29
4.2 Lechos bacterianos.....	30
4.3 Desinfección.....	31
4.4 Humedales artificiales.....	34

CAPÍTULO 5 MÉTODOS

5.1 Toma de muestras.....	40
5.2 Técnica filtración de membrana.....	42
5.7 Técnica cromogénica.....	45



CAPÍTULO 6 RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN

6.1 Parámetros físico-químicos.....	49
6.2 Coliformes.....	51
6.3 Tratamientos biológicos.....	58

CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones y recomendaciones.....	59
-------------------------------------	----

REFERENCIAS.....	61
-------------------------	-----------



LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Mapa de localización del Bosque de Aragón

Figura 2.2 Secciones del Lago

Figura 2.3 Embarcadero del Lago

Figura 2.4 Presencia de aves y su habitat en las isletas del Lago de San Juan de Aragón.

Figura 3.1 Método de filtración de membrana.

Figura 4.1 Plantas acuáticas comunes en humedales.

Figura 5.1 Ubicación de las estaciones de muestreo en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón.

Figura 5.2 Toma de la muestra de agua, nótese la inclinación de la botella para permitir la entrada de agua.

Figura 5.3 Toma de la muestra de sedimento con ayuda de una draga y jeringa.

Figura 5.4 El filtro se coloca en el soporte.

Figura 5.5 Aseguramiento del soporte y el embudo con las pinzas

Figura 5.6 Equipo de filtración

Figura 5.7 Membranas sobre el medio de cultivo

Figura 5.8 Medios de coliformes totales en incubación a 34.5°C

Figura 5.9 Medios de coliformes fecales en baño maría a 44.5 °C

Figura 5.10a Colonias de coliformes no determinadas

Figura 5.10b Presencia de coliformes fecales.

Figura 5.11 Muestra de agua en el tubo con sustrato cromogénico.

Figura 5.12 Vaciado de la solución en la placa llenando cada uno de los depósitos.

Figura 5.13 Coliformes totales.

Figura 5.14 Coliformes fecales



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Fechas importantes de la historia del Bosque de San Juan de Aragón.

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de la técnica de filtración de membrana para evaluar la calidad microbiológica del agua.

Tabla 3.2. Características de bacterias indicadoras de contaminación

Tabla 3.3 Límites máximos permisibles para coliformes en lodos y biosólidos.

Tabla 4.1 Ventajas y desventajas del sistema de tratamiento de lodos activados

Tabla 6.1 Datos del muestreo

Tabla 6.2 Resultados para coliformes en agua por la técnica Filtración de Membrana

Tabla 6.3 Resultados para coliformes en agua por la técnica cromogénica.

Tabla 6.4 Resultados de huevos de helminto para agua

Tabla 6.5 Resultados para coliformes en sedimento por la técnica filtración de membrana

Tabla 6.6 Resultados para coliformes en sedimento por la técnica cromogénica.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN



1.1 JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso natural necesario para el desarrollo de un gran número de actividades humanas. Su creciente degradación por disminución de su calidad implica la reducción de usos que se le da; es por ello, que se hace necesario la realización de estudios que permitan determinar la calidad de ésta (*Análisis microbiológico del agua, 2006*).

Las aguas residuales son desechos provenientes de diferentes fuentes como son: usos municipales, industriales, comerciales, pecuarios y domésticos. Los microorganismos que puede haber en el agua son virus, bacterias, hongos, algas y protozoos en diferentes concentraciones, dependiendo de su fuente. Estos microorganismos en el agua representan un riesgo potencial a la salud pública, cuando ésta es utilizada para riego agrícola, actividades recreativas, etcétera (*Microbiología, 2008*).

Dado que buscar todo tipo de microorganismos, es costoso y complicado se realiza un control del agua y sedimento a través de indicadores microbiológicos de contaminación. Los microorganismos indicadores más ampliamente empleados son los coliformes. Estos se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y en el tracto gastrointestinal de los animales, incluyendo a los humanos. En general se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua y/o en los sedimentos de los cuerpos de agua (*Análisis microbiológico del agua, 2006 y Madigan, 2004*).

La presencia de contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. El análisis de muestras de agua y sedimento para determinar la presencia de coliformes fecales, da una indicación sensible de dicho tipo de contaminación (*Secretaría de salud, 2002*).

El estudio que se realiza en el Lago de San Juan de Aragón es para determinar la presencia y la cantidad de coliformes totales y fecales, en agua y sedimento, así como buscar las causas de su presencia y proponer soluciones para su remoción. Las técnicas que se utilizarán para este estudio son filtración de membrana de acuerdo a la NOM-AA-102-scfi-2006 (*Semarnat, 2007*) y cromogénica con la NOM-181-SSA1-1998 (*Secretaría de salud, 1998*). Los



resultados que se obtengan serán comparados con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 (*Semarnat, 1997*) para el agua y la NOM-004-SEMARNAT-2002 (*Semarnat, 2002*) para el sedimento.

Se van a considerar además los resultados del estudio de huevos de helminto realizado en el lago del Bosque de San Juan de Aragón (González, 2008) para complementar el estudio y así proponer alternativas de solución.

1.2 OBJETIVOS

a) OBJETIVO GENERAL

- Determinar la presencia de coliformes totales y fecales en agua y sedimento del Lago del Bosque de San Juan de Aragón de acuerdo a la normatividad mexicana vigente.

b) OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar el número de coliformes totales y fecales, mediante la técnica cromogénica y en filtración de membrana.
- Verificar si el número de colonias coliformes presentes en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003- SEMARNAT-1997 para el agua y la NOM-004-SEMARNAT-2002 para el sedimento.
- Proponer alternativas de solución para el control de contaminación del lago del Bosque de San Juan de Aragón, de acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio.



CAPÍTULO 2.

ÁREA DE ESTUDIO



2.1 BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN

Antiguamente el sitio que ocupa ahora el Bosque de San Juan de Aragón formaba parte del Lago de Texcoco, el cual era un cuerpo de agua salada, alimentado por lagos de agua dulce como el de Xochimilco y Chalco, al sur, de Xaltocan y Zumpango, al norte, y el río Acolman, al noreste (Secretaría del Medio Ambiente, 2003).

En la siguiente tabla se muestran algunos acontecimientos importantes de la historia del Bosque, que influyen en su estado actual (Secretaría del Medio Ambiente, 2003):

Tabla 2.1 Fechas importantes de la historia del Bosque de San Juan de Aragón.

1521	Con la incursión de los españoles comienza la desecación del Lago de Texcoco, se construyeron presas, canales y conductos de agua, favoreciendo actividades como la agricultura y la ganadería.
1713-1754	Se construyó la Hacienda de Santa Ana, se sustituyó el nombre de la hacienda por Hacienda de Aragón. La Villa de Guadalupe fue el punto de atracción para los trabajadores
1857	Se fundó el pueblo de San Juan de Aragón
1922	Se realiza la primera donación de ejidos al pueblo de San Juan de Aragón
1934-1940	Se creó un campamento de reforestación en la zona desecada del lago para brindar a la población un espacio ambiental en que pudiera recrearse. Un proyecto de gobierno incluyó la construcción de unidades habitacionales, un bosque y un lago.
1962	885,3982 hectáreas fueron destinadas a la construcción de viviendas, así como un campo deportivo, conformado por áreas verdes, lagos artificiales y un zoológico.
1963	Se llevó a cabo la construcción de cabañas en las cuales se podían realizar días de campo.
1972	Fue inaugurado el teatro al aire libre "Cantinflas" y el Centro de Convivencia Infantil "Sara Pérez de Madero".
1974	Se construyeron instalaciones dedicadas a las actividades recreativas y deportivas, como fue el caso del Acuario, Delfinario y Balneario Público



Actualmente el bosque cuenta con áreas verdes las cuales tienen una superficie de 1'149,460.00 m², siendo el 70.94% de la superficie total del bosque, donde existen 28 especies diferentes de árboles, arbustos y plantas de ornato aunque prevalecen los eucaliptos El Bosque se localiza en Av. José Loreto Fabela y Av. 608, frente a la estación del metro Aragón (Figura 2.1).



Figura 2.1. Mapa de localización del Bosque de Aragón

Fuente: Secretaria del medio ambiente, 2003

2.2 LAGO DEL BOSQUE DE ARAGÓN

El área de estudio es el Lago del Bosque de San Juan de Aragón, el cual cuenta una extensión de aproximadamente 11 Ha. Se estima que su profundidad promedio es de 0.83 m, con un mínimo de 0.50 m y un máximo de 1.45 m. El Lago se llena con agua residual proveniente de la planta de tratamientos de Tlacos.

El lago está conformado por dos claros norte y uno sur como se muestra en la Figura 2.2, este lago fue creado con fines recreativos, para ello se instaló un embarcadero con 315 lanchas (ver Figura 2.3), el cual se encuentra en la sección menor del claro norte donde también se



localiza el influente 1, en la sección mayor del claro norte se encuentra el influente 2 y en el claro sur se localiza el efluente.

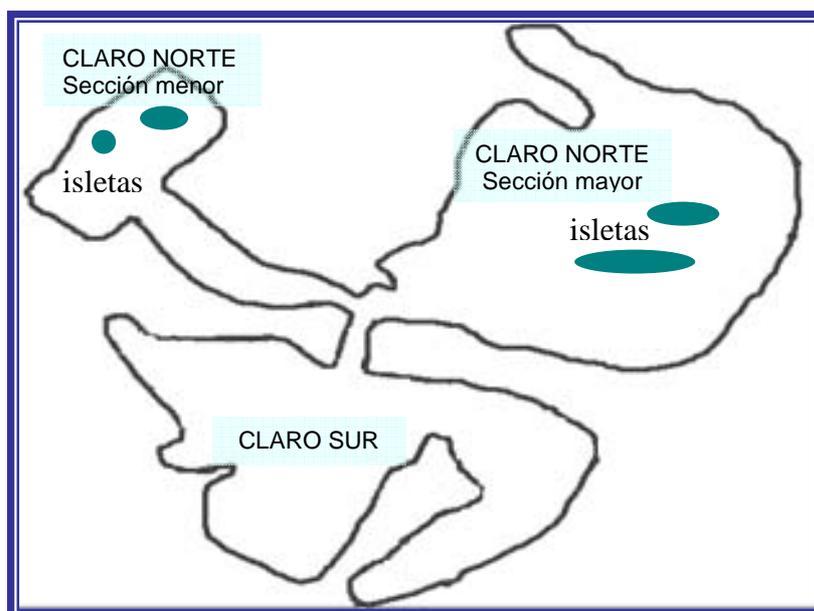


Figura 2.2 Secciones del Lago



Figura 2.3 Embarcadero del Lago

En los claros norte se localizan cuatro isletas que son refugio de aves residentes y migratorias, lo cual lo hace un lugar atractivo para observación de aves durante el periodo de noviembre a marzo (Figura 2.4). Otros componentes de la fauna del lugar peces, ajolotes y algunas tortugas.



Figura 2.4 Presencia de aves y su refugio en las isletas del Lago de San Juan de Aragón.



CAPÍTULO 3.

PARÁMETROS DE CALIDAD



3.1 TÉCNICAS MICROBIOLÓGICAS

El agua es un recurso natural necesario para el desarrollo de un gran número de actividades humanas. Su creciente degradación implica la reducción del número de usos que se le da; es ello, es necesario la realizar estudios que permitan determinar la calidad de esa agua, los cuales pueden ser: físicos, químicos y microbiológicos (*Análisis microbiológica del agua, 2006*)

El riesgo de contaminación tanto a nivel humano como ambiental hace necesario el control de la presencia de microorganismos en el agua y sedimento, es por ello que determinar el tipo de microorganismos que se encuentran presentes y su concentración nos proporciona información para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas (*CIESE, 2006*).

El control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como en la depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos (*Asano y Levine, 1998*).

Los métodos usados para valorar la calidad microbiológica del agua están estandarizados por lo que permiten la identificación de los diferentes contaminantes (*Madigan, 2004*).

La presencia de microorganismos no patógenos en el agua puede ser tolerable, sin embargo los organismos indicadores específicos nos proporcionan información acerca de si el agua puede estar contaminada con patógenos y si existe contaminación fecal en la fuente de esa agua (*Madigan, 2004*).

En las actividades de desasolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, así como en las aguas correspondientes a la operación de las plantas potabilizadoras y de plantas de tratamiento de aguas residuales y cuerpos de agua naturales y artificiales, se generan



volúmenes de lodos, que en caso de no darles una disposición final adecuada, contribuyen de manera importante a la contaminación de la atmósfera, de las aguas nacionales y de los suelos, afectando los ecosistemas del área donde se depositen (*Semarnat, 2002*).

Se ha considerado que los lodos y sedimentos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites de contaminantes establecidos en la NOM-004-SEMARNAT-2002, se dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos, para atenuar sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger a la población en general (*Semarnat, 2002*).

Los microbiólogos ambientales han empleado generalmente organismos indicadores como un índice de contaminación posible del agua y sedimento por agentes patógenos humanos. Los investigadores están buscando un organismo indicador para utilizarlo en microbiología sanitaria que cumpla con los siguientes criterios (*Madigan, 2004*):

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homotermos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Tener un tiempo de supervivencia igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal).
- Ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

Las bacterias coliformes constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales, éstos se utilizan ampliamente como organismos indicadores de contaminación fecal (*Madigan, 2004*).



3.1.1 COLIFORMES

Los coliformes se definen en bacteriología como bacterias aeróbicas facultativas, Gram negativas, no formadora de esporas, en forma de bastón que fermentan lactosa con formación de gas en 48 horas a 35 °C. El grupo coliforme incluye una gran variedad de organismos, en su mayoría de origen intestinal. En la práctica los organismos coliformes son miembros del grupo entérico bacteriano (*Madigan, 2004*).

Los géneros que componen el grupo de los coliformes son: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwardsiella* (*Ingeniería sin fronteras, 2004*).

Todos los coliformes pueden existir como saprófitos independientes o como microorganismos intestinales, es decir, que pueden tener un origen fecal, pero además pueden provenir del suelo o de las aguas, excepto el género *Escherichia*, que sólo puede tener origen fecal. Esto ha hecho necesario distinguir entre coliformes totales y fecales (*Ingeniería sin fronteras, 2004*).

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal (*Madigan et. al, 2004*).

De entre todos los coliformes, sólo el género *Escherichia* y ocasionalmente *Klebsiella*, tienen la capacidad de fermentar la lactosa no sólo a 35-37°C sino también a 44,5°C. Así, sólo la presencia de coliformes fecales, cultivados a 44,5°C, nos confirma la existencia de contaminación fecal, mientras que la presencia de coliformes totales, cultivados a 35-37°C, sólo nos indica la existencia de contaminación, sin informar sobre su origen (*Ingeniería sin fronteras, 2004*).



No obstante la presencia de coliformes totales en ausencia de coliformes fecales no puede asegurarnos la no-existencia de contaminación fecal (*Ingeniería sin fronteras, 2004*).

La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homotermos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, temperatura, etc. También pueden reproducirse en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable (*CYTED, 2003*).

3.1.2 TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN DE COLIFORMES

Entre las diferentes técnicas que existen para la determinación de bacterias coliformes las más usadas son el método del número más probable, la técnica cromogénica y la filtración de membrana, a continuación se mencionaran sus principios básicos.

En lo que se refiere al estudio de coliformes totales y fecales en agua y sedimento del lago del Bosque de San Juan de Aragón la técnicas cromogénica y filtración de membrana son las que se llevaran a cabo para identificación de dichas bacterias.

Para el manejo de sedimento se recomienda realizar diluciones de la muestra inicial para facilitar la aplicación de cada técnica.

a) EL MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP)

El método se basa en la inoculación de alícuotas de la muestra diluida o sin diluir, en una serie de tubos de un medio de cultivo líquido conteniendo lactosa.

Los tubos se examinan a las 24 y 48 horas de incubación ya sea a 35 a- 37°C. Cada uno de los que muestren turbidez con producción de gas se resiembra en un medio selectivo para confirmación.



Se lleva a cabo la incubación de estos medios selectivos hasta por 48 horas a 35 - 37 °C para la detección de organismos coliformes y por 24 horas a 44.0 ± 1 °C para organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *E. coli*.

Mediante tablas estadísticas, se lleva a cabo el cálculo del número más probable (NMP) de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *E. coli* que puedan estar presentes en 100 mL de muestra a partir del número de tubos que den resultados confirmativos positivos.

Esta técnica de cuantificación es recomendada en la NMX-AA-042-SCFI-2005 CALIDAD DEL AGUA.- DETERMINACION DEL NUMERO MAS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y *Escherichia coli* PRESUNTIVA.

Este método es aplicable para todo tipo de agua, incluyendo aquellos que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica en suspensión. La selección de las pruebas usadas en la detección confirmación del grupo de organismos coliformes, incluyendo *E. coli*, puede verse como parte de una secuencia continua. El grado de confirmación con una muestra en particular depende parcialmente de la naturaleza del agua y parcialmente de las razones para realizar el examen (*Secretaría de comercio y fomento industrial, 2005*).

b) MÉTODO DE FILTRACIÓN DE MEMBRANA (FM)

Este método se ha convertido en el más común y preferido por los microbiólogos que se encargan de evaluar las características microbiológicas del agua. Consiste en pasar la muestra de agua a través de un filtro de membrana. El filtro con las bacterias atrapadas se transfiere a la superficie de un medio sólido o a un soporte absorbente, conteniendo el medio líquido deseado. (Figura 3.1).

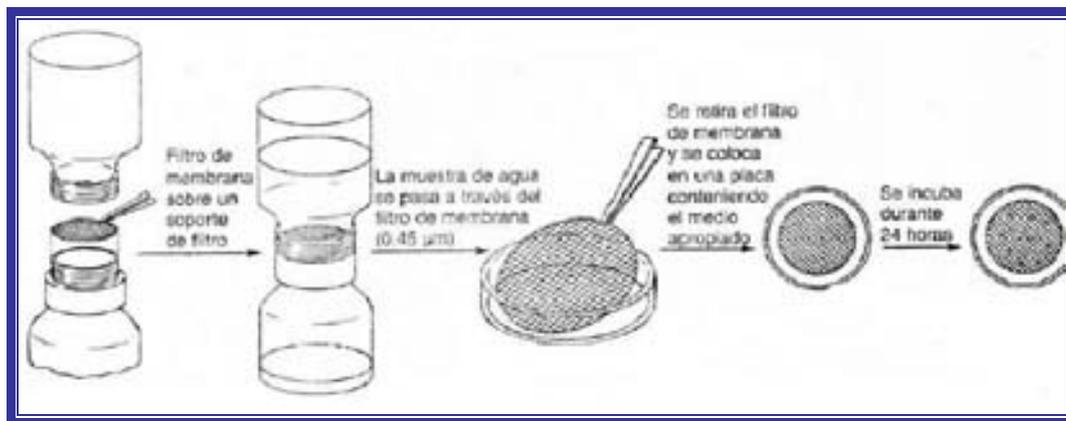


Figura. 3.1 Método de filtración de membrana

Fuente: (Prescott, 1999)

El uso del medio apropiado permite la detección rápida de los coliformes totales, coliformes fecales o estreptococos fecales, por la presencia de sus colonias características. Las muestras pueden colocarse en un medio de recuperación selectivo o incubarse a una temperatura óptima de crecimiento de los microorganismos. Los filtros de membrana se han utilizado ampliamente con agua que no contiene niveles elevados de organismos de fondo, sedimentos o metales pesados. En la tabla 3.1 se muestran las ventajas e inconvenientes del uso de esta técnica (Prescott, 1999)

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de la técnica de filtración de membrana para evaluar la calidad microbiológica del agua:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Buena reproducibilidad.	El agua con alto contenido de sólidos suspendidos limita el volumen de las muestras al tapar los poros del filtro.
A menudo pueden obtenerse los resultados en un solo paso.	
Los filtros pueden intercambiarse entre medios diferentes.	Poblaciones numerosas de bacterias causan una formación excesiva de colonias incontables.
Pueden procesarse grandes volúmenes para aumentar la sensibilidad del ensayo.	
El ahorro de tiempo es considerable.	Los metales y los fenoles pueden absorberse en los filtros e inhibir el crecimiento.
El costo es bajo en comparación con el procedimiento NMP.	

Fuente: (PRESSCOTT, 1999)



Los medios de cultivos que se utilizan, así como las características de las colonias típicas de bacterias indicadoras de contaminación se presentan en la tabla 3.2:

Tabla 3.2. Características de bacterias indicadoras de contaminación

Microorganismos	Medio de cultivo	Temperatura y tiempo de incubación	Color de las colonias
Coliformes totales	Endo	35°C, 24hrs.	Rojo con brillo metálico en la superficie
Coliformes fecales	FC	44.5°C, 24hrs	Matices de azul

Fuente: (Apella y Araujo, 2008)

La técnica de filtración de membrana es recomendada en la NMX-AA-102-SCFI-2006: CALIDAD DEL AGUA – DETECCIÓN Y ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES, ORGANISMOS COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y *Escherichia coli* PRESUNTIVA – MÉTODO DE FILTRACIÓN EN MEMBRANA.

Esta norma mexicana describe un método para la detección y enumeración de organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva (*E.coli*) en agua, después de una filtración a través de una membrana celulósica, su subsecuente cultivo en un medio diferencial lactosado y el cálculo de sus números en la muestra. Este método es aplicable a todo tipo de agua, exceptuando aguas salinas con altos contenidos de diatomeas o cuando números grandes de otros organismos puedan interferir con el crecimiento. La selección de las pruebas empleadas en la detección y confirmación de los grupos de organismos coliformes, incluyendo *E.coli* puede verse como parte de una secuencia continua. El grado de confirmación en una muestra en particular depende parcialmente de la naturaleza del agua y parcialmente de las razones para llevar a cabo el examen (Semarnat, 2006)

c) TÉCNICA CROMOGÉNICA

La determinación de organismos coliformes, se fundamenta en el uso de sustratos cromogénicos hidrolizables. Cuando se utiliza esta técnica, el grupo se define como todas las bacterias que poseen la enzima β -D-galactosidasa y son capaces de romper el sustrato cromogénico, dando como resultado una liberación del cromógeno. A diferencia del método de



fermentación de lactosa que permite el crecimiento de muchos organismos aeróbicos y elimina o suprime algunos no-coliformes con inhibidores químicos, esta técnica provee nutrientes que son más selectivos y específicos para el crecimiento de coliformes. La prueba puede usarse tanto en tubos múltiples como en formato presencia-ausencia, es decir cualitativamente (*Secretaría de salud, 1998*).

La técnica cromogénica es recomendada en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-181-SSA1-1998, SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. REQUISITOS SANITARIOS QUE DEBEN CUMPLIR LAS SUSTANCIAS GERMICIDAS PARA TRATAMIENTO DE AGUA, DE TIPO DOMÉSTICO.

La técnica cromogénica es utilizada para realizar estudios de presencia o ausencia de colonias coliformes en agua para uso y consumo humano, para la identificación de coliformes totales se incuban las placas con la muestra 24 hrs y las colonias identificadas presentan coloración rosa. Para los coliformes fecales las placas con la muestra se incuban 24hrs, se pasa una lámpara de luz ultravioleta sobre la superficie de la placa y las colonias conformes fecales presentan coloración azul.

En este estudio se tomará en cuenta esta técnica ya que es considerada confiable y más eficiente en lo que se refiere a tiempo.

Las técnicas antes mencionadas son para estudios de coliformes en agua. El sedimento, se manejará en diluciones para poder analizarlo de acuerdo a las técnicas filtración de membrana y cromogénica.

3.1.3 HUEVOS DE HELMINTO

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de agua residual (*CYTED, 2003*).



El término helminto es designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con forma y tamaños variados. Poseen órganos diferenciados, y sus ciclos de vida comprenden la producción de huevos o larvas, infecciosas o no y la alternancia compleja de generaciones que incluye hasta tres huéspedes diferentes (*Semarnat, 1999*).

Las características epidemiológicas que hacen de los helmintos patógenos entéricos causantes de infección por contacto con agua contaminada, son su alta persistencia en el medio ambiente y la capacidad de permanecer en el suelo por largos periodos de tiempo (*CYTED, 2003*).

Los helmintos intestinales son diseminados por la contaminación del medio ambiente con excretas de los huéspedes infectados, éstas presentan las etapas infectivas o resistentes de los parásitos, ya sea en forma de huevos o larvas, que necesitan estar en contacto con el agua o suelo húmedo para su desarrollo posterior, pudiendo llegar a infectar a un nuevo huésped por diferentes vías (*Mehlhorn, et al, 1988*).

3.1.4 Límites máximos permisibles

En la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997 QUE ESTABLECE LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN LOS SERVICIOS AL PÚBLICO.

La presencia de coliformes totales solo nos indica la probable existencia de contaminación fecal. En el caso de coliformes fecales los límites máximos permisibles para el tipo de reuso de servicios al público con contacto directo son 240 UFC/100mL para las técnicas: Filtración de membrana, Número más probable y Técnica cromogénica.

En el caso de sedimentos se considerará los límites máximos permisibles establecidos en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSÓLIDOS.-ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL.



Esta norma indica la calidad de lodos y biosólidos

En la tabla 3.3 se indican los límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos biosólidos.

Tabla 3.3 Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos biosólidos.

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACIÓN
	COLIFORMES FECALES UFC/g en base seca
A	Menor de 1 000
B	Menor de 1 000
C	Menor de 2 000 000

Fuente: (Semarnat, 2002)

3.2 PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS

3.2.1 TEMPERATURA

La temperatura es una variable muy importante en el medio acuático, pues influye en el metabolismo de las especies, como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica. Cuando tenemos altas temperaturas se produce una proliferación de fitoplancton, y, por consiguiente, intensa absorción de nutrientes disueltos. En caso de disminución de la temperatura se produce el efecto contrario (*Universidad de Córdoba, 2007*).

Cabe mencionar que los aumentos de temperatura tienden a facilitar la disolución de sustancias químicas (como minerales y sustancias orgánicas) en el agua y la disminución en la disolución de los gases como el oxígeno (*Durán, 1997*).



Las actividades humanas no deben cambiar las temperaturas acuáticas más allá de las fluctuaciones estacionales naturales ya que perturbarían los ecosistemas acuáticos. La temperatura afecta la solubilidad del oxígeno y por lo tanto afecta los peces (*Water Proyect, 2003*). La temperatura no debe exceder los 40°C según el límite máximo permisible por la NOM-001-SEMARNAT-1996.

La forma más común o recomendada para medir la temperatura es mediante un termómetro digital, el termopar se introduce en el agua.

3.2.2 pH

El término pH (Índice de Ion Hidrógeno) es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es decir la forma de medir la concentración de iones de hidrógeno en la solución (*Universidad de Córdoba, 2007*)

Las medidas de pH son de extrema utilidad, pues nos proveen información con respecto a la calidad de la agua. Las aguas superficiales tienen pH entre 4 y 9. Algunas veces son ligeramente alcalinas por causa de la presencia de carbonatos y bicarbonatos (*Universidad de Córdoba, 2007*)

Valores superiores a 11 se han puesto en relación con irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos. Aunque el pH no tiene, por lo común, efectos directos, es uno de los parámetros operacionales más importantes de la calidad del agua (*Universidad de Córdoba, 2007*)

Un valor de pH entre 6,0 y 9,0 parece brindar protección para los peces de agua dulce y los invertebrados que habitan en el fondo (*Water Proyect, 2003*).

La medición del pH se realiza con un potenciómetro, introduciendo el electrodo en el agua para tomar la medición. Los valores máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 van de 5 a 10 unidades.



3.2.3 OXIGENO DISUELTO

El oxígeno es una sustancia indispensable para supervivencia de los animales y de otros muchos seres vivientes tanto acuáticos como terrestres (*Universidad de Córdoba, 2007*).

Los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración. De esa forma, cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que descomponen y, consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno. Así pues, la muerte de los peces en los ríos contaminados, en muchos casos, se debe a la ausencia de oxígeno y no a la presencia de sustancias tóxicas (*Universidad de Córdoba, 2007*).

Para que la calidad del agua sea buena, se necesita determinada cantidad de oxígeno disuelto. Los procesos naturales de purificación de corrientes de agua requieren niveles de oxígeno adecuados para posibilitar las formas de vida aerobia. Cuando estos niveles en el agua están por debajo de 5,0 mg/L, la vida acuática está en peligro (*Water Proyect, 2003*).

Para medir la concentración de contaminantes orgánicos, en las aguas que resultan del uso doméstico el parámetro más utilizado es la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), esta se define como la concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos, presentes en el agua o añadidos a ella para efectuar la medida (*Marsilli, 2005*).



CAPÍTULO 4

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS



La demanda de agua, siempre en aumento, aunada a los grandes volúmenes de agua residual que la actividad humana genera (tanto de tipo municipal como industrial), y la escasez de agua de primer uso, hacen inevitable el reuso de las mismas, principalmente en la agricultura y recarga de acuíferos, asociándose a ello aspectos sociales, económicos, políticos, ambientales y de salud de gran relevancia. En zonas urbanas es muy frecuente el uso de aguas residuales tratadas para riego de áreas verdes, en zonas recreativas, o para algunos propósitos industriales (*Sonntang P. y Schuchmann L*)

Sin embargo, la responsabilidad que implica el reuso de las aguas residuales, requiere que se realice permanentemente la evaluación del deterioro en la calidad del ambiente y los riesgos a la salud pública, así se contribuye a que el agua residual se utilice de manera racional y segura, en el mantenimiento de las áreas verdes y para los otros propósitos industriales (*Silva, 2008*).

Los tratamientos biológicos de las aguas residuales se basan en el proceso aparentemente simple en el que una población mixta de microorganismos utiliza como nutrientes sustancias que contaminan el agua. Este es el mecanismo por el cual las corrientes de aguas naturales, como los lagos y ríos, se autopurifican. Con el uso de técnicas de ingeniería química, se han intensificado y acelerado los tratamientos biológicos para la remoción de contaminantes, para lograr la purificación a gran escala de aguas residuales, domésticas e industriales. Las aguas residuales que contienen solutos contaminantes se ponen en contacto con una densa población de microorganismos apropiados, durante un tiempo suficiente que permita a los microbios descomponer y eliminar, según se desee, los solutos contaminantes. El grado con el que cada uno de éstos procesos contribuye al efecto de purificación dependerá del sistema de tratamiento que se use, su manera de operación y de las materias presentes en el agua residual en tratamiento (*Winkler, 1999*).

Una corriente natural sana, como un río o un lago, posee una capacidad limitada de autopurificación, cuando ésta se destruye o se agota, la corriente se contamina. La capacidad de autopurificación se debe a cantidades relativamente pequeñas de microorganismos presentes en el agua. Dichos microorganismos utilizan como alimento gran parte de la materia



orgánica contaminante que llega de algún modo al agua. Los microorganismos forman un microsistema ecológico de bacterias, hongos y algas, y a su vez forma parte de una cadena alimentaria para otros organismos como protozoarios, insectos, gusanos y peces (Winkler, 1999).

En el proceso de purificación, las materias orgánicas se descomponen finalmente en compuestos simples como anhídrido carbónico o metano, y los microorganismos aumentan en número. De este modo, los contaminantes orgánicos se eliminan de una corriente de agua, en parte por descomposición bioquímica y en parte por conversión de celular microbianas. Si se destruye la población microbiana, los solutos contaminantes que entran en el agua no se descompondrán y se acumularán en el agua. Según se acumulen en el agua los contaminantes, su concentración en el agua puede hacerse tan alta que no se podrá restablecer una población microbiana. El agua queda entonces permanentemente contaminada (Winkler, 1999).

El tratamiento de las aguas residuales en algún determinado sitio es atractivo en términos de la disponibilidad del agua tratada para volver a usarla y el cumplimiento de las regulaciones del control de la contaminación (Winkler, 1999)

Tratamiento de aguas residuales

Pasos de tratamiento:

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos (Marsilli, 2005):

- Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
- Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado.
- Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.



- Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

Sistemas de tratamiento biológico:

Los objetivos del tratamiento biológico son tres (*Marsilli, 2005*):

1. Reducir el contenido en materia orgánica de las aguas,
2. Reducir su contenido en nutrientes
3. Eliminar los patógenos y parásitos. Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas.

Existen diferentes métodos de tratamiento biológico. Los más conocidos son los lechos bacterianos y los lodos activados. En ambos tipos de tratamiento, se emplean cultivos biológicos para conseguir una descomposición aeróbica y oxidación de la materia orgánica, pasando a compuestos más estables. Se obtiene así un mayor rendimiento que el alcanzado por una sedimentación primaria, y por una depuración de tipo químico (*Arango, 2003*).

Existe una diferencia operacional entre ambos procesos para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica. En ambos casos, el éxito radica en mantener las condiciones aeróbicas, que son necesarias para el ciclo vital de los organismos, y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan (*Arango, 2003*).

4.1 LODOS ACTIVADOS

Un proceso de lodo activado es un tratamiento biológico en el cual se agita y aerea una mezcla de agua de desecho y un lodo de microorganismos, y de la cual los sólidos se remueven y recirculan posteriormente al proceso de aireación, según se requiera (*Arango, 2003*).

El tratamiento se proporciona mediante difusión de aire por medios mecánicos en el interior de tanques. Durante el tratamiento los microorganismos forman flóculos que, posteriormente, se dejan sedimentar en un tanque, denominado tanque de clarificación. El



sistema básico comprende, pues, un tanque de aireación y un tanque de clarificación por los que se hace pasar los lodos varias veces (Marsilli, 2005).

Los dos objetivos principales del sistema de lodos activados son (1º) la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y (2º) la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Este sistema permite una remoción de hasta un 90% de la carga orgánica (Marsilli, 2005).

Las principales ventajas y desventajas del sistema de tratamiento de lodos activados se muestran en la tabla 4.1 (Arango, 2003):

Tabla 4.1 Ventajas y desventajas del sistema de tratamiento de lodos activados

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Flexibilidad de operación a través del control de la biomasa del proceso	Necesidad de control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio.
Eficiencia en la remoción de la carga orgánica más alta que en otros procesos convencionales, alcanzando valores superiores a 90%.	Altos costos de operación asociados fundamentalmente a los requerimientos de aireación, que se proveen en forma mecanizada.
Minimización de olores y ausencia de insectos.	Bajo abatimiento bacteriológico, por lo que se necesita efectuar desinfección final del efluente.

Fuente:(Arango,2003)

4.2. LECHOS BACTERIANOS

Los lechos bacterianos son un sistema de depuración biológica de aguas residuales en el que la oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio poroso o material de soporte, aire y agua residual. La circulación del aire se realiza de forma natural o forzada (Arango, 2003).



Las ventajas de los lechos bacterianos pueden resumirse en (*Arango, 2003*):

- ◆ No necesitan muros impermeables que encarezcan la construcción.
- ◆ Posibilidad de aireación adecuada, que permiten adaptar, en las mejores condiciones posibles, los fenómenos de depuración por vía aerobia a las características del efluente a tratar.
- ◆ Continuidad, estableciendo los dispositivos adecuados para el vertido sobre el lecho, y los dispositivos de evacuación de aguas de salida.

Los problemas que presentan los lechos bacterianos son: la puesta en marcha, la pérdida brusca de la película biológica, el encharcamiento de la superficie del lecho, los malos olores, la presencia de moscas, la formación de espumas en canaletas de recogida, y bajas temperaturas que inhiban la acción bacteriana (*Hernández, 2001*).

4.3 Desinfección

La desinfección es un proceso de destrucción o inactivación de los microorganismos patógenos. Cuando se habla de esterilización implica la destrucción o inactivación total de todos los microorganismos (bacterias, virus, algas, nemátodos, protozoos, etc.). También es una práctica que se utiliza en los procesos finales de aguas residuales del tipo convencional (*Arango, 2003*).

Los sistemas de desinfección más utilizados en las aguas residuales pueden concretarse en cloración, ozonización, radiación ultravioleta y membranas. Los efectos de la inactivación dependen del tipo de microorganismos, de la dosis y tipo de desinfectante empleado y el tiempo de contacto. Las principales características de los desinfectantes es que son: tóxicos para los microorganismos y no tóxicos para el hombre y otros organismos, solubles, homogéneos en la solución y estables, inertes con otras materias; y tener una disponibilidad permanente, sin efecto sobre la calidad de las aguas (*Arango, 2003*).

Para la desinfección de las aguas residuales, hay que tomar en cuenta los efectos de eliminación de microorganismos en las distintas etapas del proceso de depuración (*Arango, 2003*).



La concentración de los patógenos en los efluentes de aguas residuales es generalmente alta y muy variada. Además, no todos los tipos de patógenos presentan igual sensibilidad a los desinfectantes, lo que hace necesario el diseño de un modelo que actúe principalmente sobre los organismos más persistentes (*McJunkin, 1988*).

4.3.1 Cloración

El cloro, a partir de su utilización para el tratamiento de las aguas en 1899, ha sido acreditado como el más eficaz de los desinfectantes utilizados en el tratamiento de agua para el consumo humano (*Arango, 2003*).

El cloro en la forma de ácido hipocloroso es un desinfectante poderoso contra bacterias y virus. Tiene efectos residuales por lo que actúa sobre el contaminante en tratamiento posterior. Los quistes de *Giardia* son cien veces más resistentes al cloro que las bacterias y virus (*EPA, 1986*).

4.3.2 Ozono

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno elemental que posee tres átomos de oxígeno (O_3). Es un gas de olor característico, de color azul, muy inestable, detectable y fácilmente reconocible por su olor picante a concentraciones entre 0,08 y 0,1 mg/L (*Arango, 2003*).

La aplicación más antigua de ozono para el tratamiento de aguas urbanas fue a finales del siglo XIX en Alemania, Francia y Holanda, y después de comprobarse sus facultades de desinfección e inactivación de virus y bacterias, se extendió al resto de Europa (*Arango, 2003*).

La aplicación del ozono en el tratamiento de aguas residuales es muy variado, se usa para (*Arango, 2003*):

◆ Desinfección bacteriana



- ◆ Inactivación viral
- ◆ Oxidación de hierro y manganeso
- ◆ Reducción de metales pesados
- ◆ Eliminación de color, sabor y olor
- ◆ Eliminación de turbiedad
- ◆ Eliminación de algas
- ◆ Oxidación de compuestos orgánicos (fenoles, detergentes, plaguicidas)
- ◆ Micro floculación de detergentes
- ◆ Oxidación de compuestos inorgánicos (cianuros, sulfuros y nitritos)
- ◆ Pretratamiento de procesos biológicos, reducción de trihalometanos y otros compuestos organoclorados.

El ozono tiene la ventaja de ser un desinfectante rápido y activo contra bacterias y virus, porque destruye la proteína celular principalmente por inactivación de los sistemas enzimáticos críticos, enzimas esenciales para la vida microbológica (*Arango, 2003*).

Su desventaja es que los efectos no permanecen después del tratamiento, o sea que no tiene efecto residual como el cloro, además de ser un tratamiento caro (*Hernández, 2001*).

4.3.3 Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) es una alternativa de desinfección al uso de cloro y ozono en muchas aplicaciones de agua potable y aguas residuales (*Arango, 2003*).

El método de radiación UV presenta ventajas, cuando es utilizado en condiciones adecuadas, no da origen a compuestos químicos en las aguas y no modifica su calidad. Sin embargo, el método también presenta desventajas ya que no tiene efecto residual desinfectante en las aguas, y los costos de implementación y mantenimiento suelen ser un poco altos. Además, la desinfección de las aguas depende de la turbidez y el color de las mismas (*Arango, 2003*).



La radiación UV, elimina los compuestos de materia orgánica presentes en las aguas (Arango, 2003).

La reducción de los componentes orgánicos depende de los siguientes parámetros (Arango, 2003):

- Intensidad de radiación
- Tiempo de radiación
- Transmisión de UV en el agua residual

Los microorganismos son inactivados por luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos afectados por una longitud de onda con picos de 200 a 260 nm, esto depende de la resistencia intrínseca de los organismos, la dosis aplicada y la DQO (Sonntang P. y Schuchmann L., 1992).

Las dosis de inactivación de bacterias patógenas son normalmente similares a las dosis requeridas para la desinfección de grupos de indicadores fecales, tales como coliformes fecales.

4.4 Humedales artificiales.

Los humedales son aguas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas, con una frecuencia y duración tales que sean suficientes para mantener concentraciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizo y juncos (ver figura 4.1). La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno de la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar (Lara, 2008).

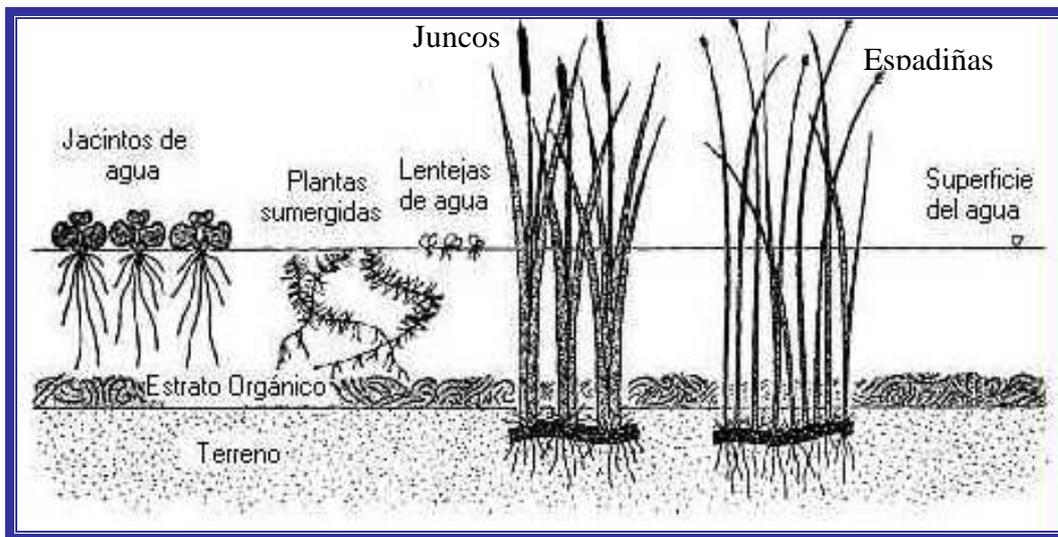


Figura 4.1 Plantas acuáticas comunes en humedales.

Fuente: (Lara, 2008)

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales (Lara, 2008):

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por medio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual: Sistemas a Flujo Libre (SFL) y Sistemas de Flujo Superficial (SFS). En los casos en que se emplean para proporcionar tratamiento secundario o avanzado, los sistemas SFL suelen consistir en balsas o canales paralelos con la superficie de agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable o con una barrera subsuperficial, vegetación emergente y niveles de agua poco profundos (0,1 a 0,6 m) (Lara, 2008).

A los sistemas SFL normalmente se les aplica agua residual bombeada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y las raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objeto



de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava. Las mismas especies vegetales se usan en los dos tipos de humedales artificiales. El lecho de grava tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Como el nivel del agua ésta por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares (*Lara, 2008*).

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes (*Lara, 2008*).

La actividad microbiana transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles. Altera las condiciones de potencial redox del substrato y así afecta la capacidad del proceso del humedal y está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aerobias, mientras que otras son anaeróbias. Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbias y anaeróbias en respuesta a los cambios del medio ambiente (*Lara, 2008*).

Los humedales construidos también proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados (*Lara, 2008*).

Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento al consumir materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia durante sus fases larvales. Los invertebrados también tienen varios papeles ecológicos (*Lara, 2008*).



Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, los humedales construidos atraen gran variedad de anfibios, tortugas y mamíferos (*Lara, 2008*).

Los humedales artificiales son técnica y económicamente factibles para tratar aguas residuales por varias razones entre ellas se encuentran las siguientes (*Lara, 2008*):

- Son menos costosos que otras opciones de tratamiento.
- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos (energía y suministros):
- La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación.
- Los humedales soportan bien las variaciones de caudal.
- Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua.

Además:

- Proporcionan un hábitat para muchos organismos.
- Pueden construirse en armonía con el paisaje.
- Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua, como el ser un hábitat para la vida salvaje y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos.

Existen algunas limitaciones respecto al uso de humedales artificiales entre ellas encontramos las siguientes (*Lara, 2008*):

- a) Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparado con los tratamientos convencionales. El tratamiento con humedales puede ser relativamente más barato que otras opciones, solo en el caso de tener terreno disponible y accesible.
- b) El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional. El rendimiento del sistema puede ser estacional en respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.



- c) Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como amoniac y plaguicidas que llegan a ser tóxicos.
- d) Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan. Pero no soportan estar completamente secos.



CAPÍTULO 5. MÉTODOS



5.1 TOMA DE LA MUESTRA

El muestreo se llevo a cabo en diferentes puntos del Lago del bosque de San Juan de Aragón considerando 22 puntos de muestreo como se muestra en la Figura 3.1. Las muestras se tomaron durante el mes de octubre y noviembre del 2007, y se realizó un último muestreo en enero del 2008.



Figura 5.1 Ubicación de las estaciones de muestreo en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón.
Fuente: (Google Earth, 2008)



a) AGUA:

La muestra de agua es superficial, por lo que se tomó con una botella esterilizada, la boquilla se destapó lo más cercano a la superficie del agua y se inclinó para permitir la entrada de agua a la botella (véase la figura 5.2), se colocó la tapa, se etiquetó y se selló con parafilm.



Figura 5.2 Toma de la muestra de agua, nótese la inclinación de la botella para permitir la permitir la entrada de agua.

b) SEDIMENTO:

La muestra de sedimento se recolectó con ayuda de una draga, ésta se sumergió en el lago de tal manera que permitió tomar parte de sedimento y con una jeringa (esterilizada y sin punta), se acerca a la superficie del sedimento para tomar aproximadamente 5 g (ver Figura 5.3), se etiquetó y se colocó en una bolsa estéril.





Figura 5.3 Toma de la muestra de sedimento con ayuda de la draga y jeringa

Las muestras de agua y de sedimento se conservaron en una hielera mientras se transportaron al laboratorio para su análisis. Las muestras tuvieron que ser analizadas antes de 24 hrs.

El estudio microbiológico se realizó en el “Laboratorio de Ingeniería Ambiental, ubicado en el Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

5.2 TÉCNICA FILTRACIÓN DE MEMBRANA

El análisis del agua con la técnica filtración de membrana se realizó de la siguiente manera:

1. El medio que se utilizó para identificar colonias de coliformes totales fue el medio Endo para coliformes fecales se empleo el m-FC, los cuales se colocaron en una caja petri, para que el medio funcionará como almohadilla para la membrana que contendrá la muestra filtrada.

2. El filtro se puso en un soporte y se aseguró en posición bajo el embudo, después se puso la muestra de agua en el embudo (100 mL de la muestra de agua) y se hizo pasar a través de la membrana millipore con ayuda de una bomba de vacío (Ver Figuras 5.4, 5.5 y 5.6).

3. Se retiró el embudo y el membrana filtrante se manejó con pinzas estériles, se colocó en la caja petri previamente impregnada con medio de cultivo (Figura 5.7).

4. Las cajas petri se incubaron a 34.5 °C durante 24 horas para coliformes totales y a 44.5°C durante 24 horas para coliformes fecales en baño maría (Figura 5.8 y 5.9).

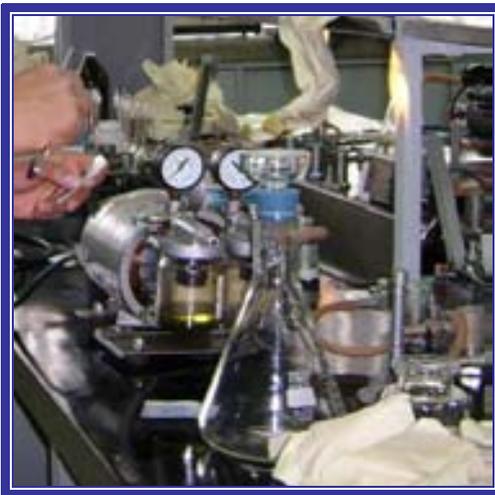


Figura 5.4 El filtro se coloca en el soporte



Figura 5.5 Aseguramiento del embudo y el soporte con las pinzas.



Figura 5.6 Equipo de filtración.



Figura 5.7 Membranas sobre el medio de cultivo.

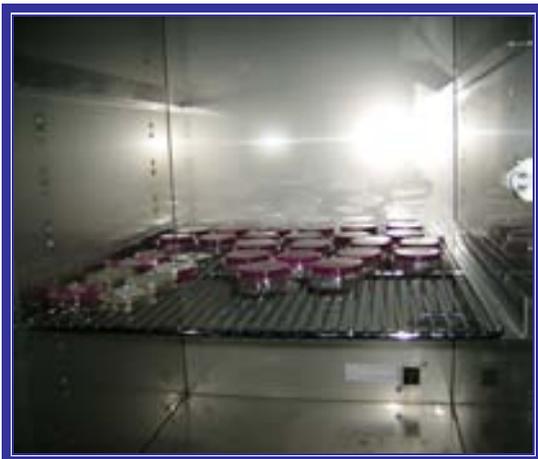


Figura 5.8 Medios de coliformes totales en
Incubación a 34.5 °C



Figura 5.9 Medios de coliformes fecales en
baño maría a 44.5°C

Una vez que transcurrieron las 24 horas de incubación de las muestras, con ayuda de un microscopio estereoscópico se analizaron las muestras (véase la Figura 5.10 a y 5.10 b). Las colonias de coliformes totales se identificaron como aquellas que presentaron coloración verde metálico y las colonias que presentaron coloración azul metálico fueron coliformes fecales.

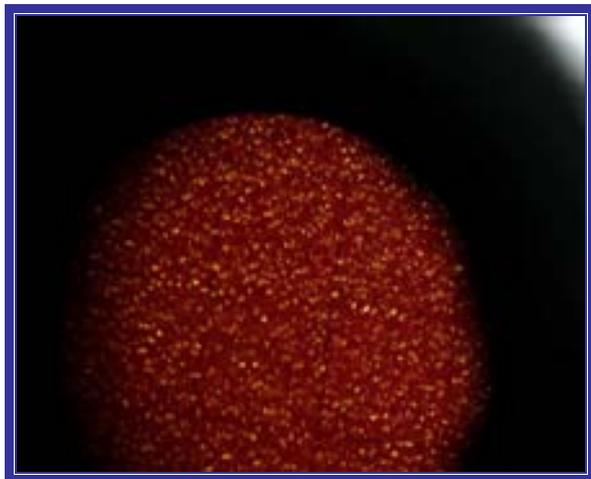
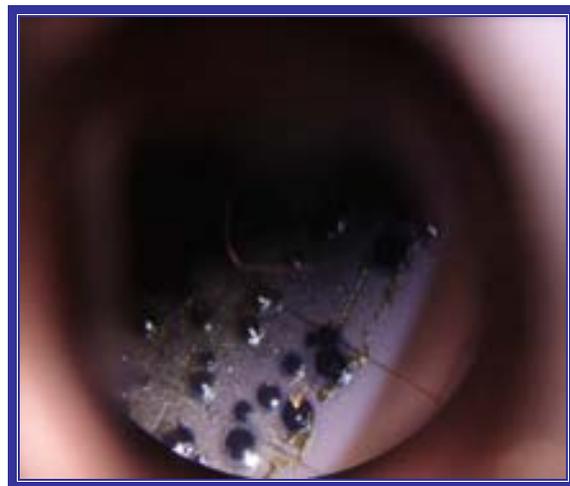


Figura 5.10 a Colonias de coliformes no determinadas.



5.10 b Presencia de coliformes fecales

Para realizar el tratamiento a las muestras de sedimento se procedió a realizar diluciones del sedimento con agua esterilizada, tomándose 5 g de sedimento para aforar a 100 mL, de ésta dilución se tomaron 10 mL y se llevó a un aforo de 200 mL, de esta manera se obtuvieron 100 mL para filtrar e identificar coliformes totales y 100 mL para filtrar e identificar coliformes fecales.

Al terminar de realizar las diluciones se realizó la técnica filtración de membrana como anteriormente se explicó.

5.3 TÉCNICA CROMOGENICA

De la muestra que se tenía se tomaron 10 mL de agua y se colocaron en el tubo que contiene el sustrato cromogénico (Figura 5.11), se agitó vigorosamente y la solución se vació en la placa asegurándose que todos los depósitos se encuentren llenos, se rotuló la placa (Ver figura 5.12). Y ésta se colocó en la incubadora durante 24 horas a 34.5 °C.



Figura 5.11 Muestra de agua en el tubo con sustrato cromogénico.



Figura 5.12 Vaciado de la solución en la placa llenando cada uno de los depósitos.

Las muestras de sedimento se analizaron por la técnica cromogénica se realizaron diluciones, se tomó 1 g de sedimento en un tubo de ensayo, se agregó 9 mL de agua estéril, de esta dilución se tomó 1 mL y se colocó en un tubo de ensayo para agregar nuevamente 9 mL de agua estéril. Esta dilución se colocó en el tubo que contiene el sustrato, se agitó y se vació la solución en la placa para llenar todos los depósitos y posteriormente colocarse en la incubadora.



Una vez que transcurrieron las 24 hrs de incubación las placas se examinaron, se identificaron como coliformes totales aquellos depósitos que presentaron coloración rosa (Ver Figura 5.13). Los coliformes fecales se identificaron con ayuda de una lámpara de luz ultravioleta. Esta lámpara se colocó sobre la superficie de la placa y los depósitos que presentaron coloración azul fuerte se identificaron como colonias de coliformes fecales (Ver Figura 5.14)



Figura 5.13 Coliformes totales

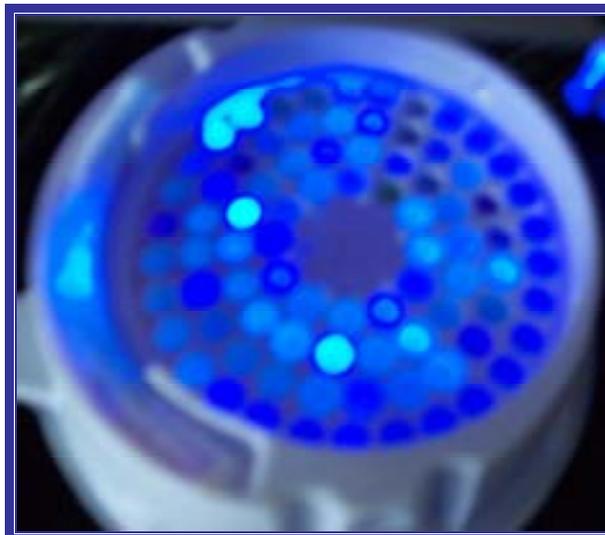


Figura 5.14 Coliformes fecales



CAPÍTULO 6.

RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN



RESULTADOS Y SU ANÁLISIS

6.1 Parámetros físico-químicos

En la tabla 6.1 se muestran los parámetros que se tomaron en cada uno de las estaciones del muestreo que se realizó para el agua. Durante el recorrido se observó que el lago tenía aspecto limpio en la mayoría de su área, el agua presentó aspecto verdoso, en las orillas y en las zonas donde se localizaron las isletas (donde habitan las aves) se encontró una cantidad apreciable de plumas lo que hace que el lugar se vea sucio.

✓ **Temperatura**

Las temperaturas registradas a lo largo del muestreo, indicaron que no existe una variación apreciable de ésta, ya que se encuentran en un intervalo de 18.1 a 23.2 °C, obteniendo la mínima para la estación de muestreo 11B, localizada en el claro sur y la mayor en la estación de muestreo 22B, localizada en el claro norte sección menor del lago (Ver tabla 6.1 y figura 5.1). Los valores registrados para la temperatura no afectaron la presencia de coliformes en el lago. Además de que se encontraron dentro de los límites permisibles que dicta la NOM-001-SEMARNAT la cual es de 40°C.

✓ **pH**

Para el caso del pH se encuentra en un intervalo de 10.3 y 11.04, el valor mínimo se encontró en la estación de muestreo 21B, localizada en el puente que conecta los claros norte y sur; y el valor máximo se encontró en la estación 13B, ubicada en el claro sur, puede observarse que el lago tiene un comportamiento básico (ver tabla 6.1 y figura 5.1).

✓ **Oxígeno disuelto**

En el caso de oxígeno disuelto se encuentra variación alta entre las diferentes estaciones de muestreo ya que se encontró un valor mínimo de 2.3 mg/L en la estación de muestreo 6B,



2.5g/L en la estación 4B y 2.9 mg/L en la 21B ubicadas en la sección menor del claro norte y una máxima de 7.1 mg/L en la estación 18B y 22B; 7mg/L en la 17B ubicada en la sección mayor del claro norte (Ver Tabla 6.1 y Figura 5.1). Se encontraron coliformes tanto en las estaciones donde se registraron los valores mínimos como en los valores máximos, en las estaciones donde el oxígeno disuelto es de 5.1 mg/L hasta 7.1 mg/L la concentración de coliformes es alta.

Tabla 6.1 Datos del muestreo

No. Muestra	Estación de Muestreo	O2 Disuelto Mg/L	T (°C)	pH	No. Muestra	Estación de Muestreo	O2 Disuelto Mg/L	T (°C)	pH
Entrada1	Entrada de agua	3.6	18.6	10.4	M12	12B	5.4	18.5	11.04
M1	1B	4.0	18.3	10.6	M13	13B	5.4	19.4	11.01
M2	2B	5.4	18.5	10.74	M14	14B	6.2	20.2	10.78
M3	3B	5.2	18.6	10.86	M15	15B	6.1	19.8	10.72
M4	4B	2.5	18.5	10.54	M16	16B	6.5	20.5	10.84
M5	5B	5.0	19.1	10.33	M17	17B	7.0	21.3	10.87
M6	6B	2.3	18.4	10.97	M18	18B	7.1	22.6	10.85
M7	7B	4.27	18.7	10.5	M19	19B	5.7	20.4	10.66
M8	8B	5.9	19.1	11.2	M20	20B	6.3	20.5	10.78
M9	9B	4.3	18.8	10.96	M21	21B	2.9	18.7	10.30
M10	10B	5.3	18.5	10.98	M22	22B	7.1	23.2	10.85
M11	11B	5.4	18.1	10.8					



6.2 Coliformes

Los coliformes tienen la capacidad de desarrollarse tanto en un medio con oxígeno disuelto como en uno donde no hay, ya que son definidos en bacteriología como bacterias aerobias y anaerobias facultativas.

Los coliformes totales en agua y sedimento solo servirán como indicadores de una probable contaminación fecal.

6.2.1 Coliformes en agua

En la tabla 6.2 se muestran los resultados de las muestras que se analizaron para identificar coliformes totales y fecales en agua el día 16 de Octubre y 22 de Noviembre del 2007 por la técnica filtración de membrana, en las estaciones de muestreo donde se determinó su presencia fue en la sección menor del claro norte. Los valores obtenidos se encuentran dentro de la normatividad según los límites máximos permisibles reportados en la NOM-003-SEMARNAT-1997 que son 240 UFC/100mL.

Los resultados indican que el lago no tiene problemas de contaminación fecal. Sin embargo esta técnica resulta ineficiente cuando las muestras de agua presentan mucha turbidez, sólidos suspendidos y contaminación por metales pesados (Presscott, 1999) ya que éstos inhiben el crecimiento de los coliformes, siendo éstas las probables causas por las que no se logró determinar su presencia.

En la tabla 6.3 se encuentran los resultados obtenidos de las muestras de agua analizadas mediante la técnica cromogénica, realizado el 30 de enero del 2008, se determinó la presencia de coliformes totales en gran parte de las estaciones de muestreo del claro norte y en dos estaciones del claro sur (Ver tabla 6.3 y figura 5.1), indicando la probabilidad de contaminación fecal, principalmente en las zonas cercanas a las isletas donde habitan las aves ya que en estos puntos se encontraron concentraciones de coliformes totales altas.



La presencia de coliformes fecales rebasa los límites máximos permisibles en el claro norte para los puntos de muestreo 1B, 3B, 4B, 5B y 15B (Ver tabla 6.3 y figura 5.1), donde los valores encontrados indican contaminación fecal y es necesario implementar un tratamiento biológico para la remoción de dicha contaminación, ya que el lago podría verse afectado y no ser apto para su uso recreativo.

Tabla 6.2 Resultados para coliformes en agua por la técnica Filtración de Membrana

Estación de muestreo	Coliformes en agua (16 octubre 2007) UFC/100mL de agua		Coliformes en agua (22-noviembre 2007) UFC/100mL en agua	
	Coliformes totales	Coliformes fecales	Coniformes totales	Coliformes fecales
Entrada de agua	0	No determinado	98	14
1B	7	No determinado	0	0
2B	2	0	0	0
3B	3	No determinado	0	0
4B	0	No determinado	0	0
5B	0	0	0	0
6B	0	No determinado	0	0
7B	0	No determinado	0	0
8B	0	No determinado	0	0
9B	0	0	0	0
10B	0	No determinado	0	0
11B	0	0	0	0
12B	0	No determinado	0	0
13B	0	0	0	0
14B	0	0	0	0
15B	0	0	0	0
16B	0	0	0	No determinado
17B	0	0	0	No determinado
18B	0	No determinado	0	No determinado
19B	0	0	1	0
20B	1	0	20	0
21B	0	0	0	0
22B	0	0	0	0



Tabla 6.3 Resultados para coliformes en agua por la Técnica Cromogénica

Punto de muestreo	Unidad Formadora de Colonias UFC/100mL de agua	
	Coliformes totales	Coliformes fecales
1B	5200	4000
2B	2200	100
3B	3900	2800
4B	2100	300
5B	4700	900
6B	500	0
7B	0	0
8B	0	0
9B	200	0
10B	0	0
11B	0	0
12B	0	0
13B	100	0
14B	100	0
15B	6300	2000
16B	400	100
17B	100	0
18B	100	0
19B	300	0
20B	0	0
21B	0	0
22B	400	100

6.2.2 HUEVOS DE HELMINTO

En este trabajo se tomaron en cuenta los resultados de huevos de helminto realizados en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón (González, 2008) estos resultados aún no se han publicado, pero para completar este estudio es necesario considerar estos resultados.



La determinación los huevos de helminto, se desarrolló aplicando las normas NOM-003-SEMARNAT-1997 y NMX-AA-113-SCFI-1999.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.4 los siguientes, en las muestras se indica a que punto de muestreo del Lago pertenece:

Tabla 6.4 Resultados de huevos de helminto para agua

Muestra	Huevecillos por litro
2B	2.4
4B	1.2
7B	1.4
9B	5.2
11B	3.4
13B	8.8
16B	6.2
18B	1
19B	13.8
20B	6.6

El estudio de huevos de helminto se realizó en agua, los resultados encontrados rebasan en todas muestras los límites máximos permisibles mencionados en la NOM-003-SEMARNAT, por lo que puede observarse que existe contaminación parasitaria en el agua del Lago y muy probablemente también se encuentre en el sedimento ya que dichas bacterias tienden a sedimentar, por lo que no es conveniente realizar más estudios microbiológicos al sedimento antes de darles una disposición final.

Además de hacer más necesario un tratamiento biológico al agua para remover la mayor cantidad de contaminantes antes de que exista un mayor problema de contaminación y el lago deje de funcionar como área de recreación.

6.2.3 COLIFORMES EN SEDIMENTO

En la tabla 6.5 se encuentran los resultados obtenidos para las muestras de sedimento analizadas por la técnica filtración de membrana, realizados en dos fechas diferentes, como ya se mencionó no existe una norma que dictaminé los límites máximos permisibles para



sedimento por lo que se tomó en cuenta la NOM-004-SEMARNAT-2002, considerado como biosólidos al sedimento el límite máximo es de 1000 UFC/g.

En el muestreo que se realizó el 17 de octubre del 2007, los resultados encontrados fueron que en las estaciones de muestreo 1B, 3B, 8B, 12B y 19B se determinó la presencia de coliformes totales y solo para la estación 1B, se determinó que la concentración de coliformes fecales rebasan los límites permisibles encontrando contaminación fecal para este punto (Ver tabla 6.5 y figura 5.1).

Los resultados que se encontraron para el muestreo realizado el día 23 de noviembre del 2007, mediante la técnica filtración de membrana, son los siguientes: en las estaciones donde se determinó la presencia de coliformes totales son entrada de agua, 1B, 5B, 15B, 16B, 18B, 19B, 20B y 21B correspondientes a la zona del claro norte mayor (Ver tabla 6.5 y Figura 5.1). En las estaciones donde se encontraron problemas de contaminación fecal son principalmente en la sección mayor del claro norte para las estaciones de muestreo 15B, 16B, 18B y 21B las cuales rebasan los límites máximos permisibles y se encuentran principalmente en el área donde habitan las aves, por lo que puede decirse que éstas contribuyen de manera importante a la contaminación ya que sus heces fecales contienen bacterias coliformes.

Para el muestreo realizado el día 30 de enero del 2008 las muestras que fueron analizadas por la técnica cromogénica, se determinó la presencia de coliformes totales en las estaciones de muestreo 1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 14B, 15B, 16B y 21 B del claro norte; en la 9B y 13B del claro sur (Ver tabla 6.6 y figura 5.1). En cuanto a la presencia de coliformes fecales en las estaciones de muestreo 1B, 3B, 4B 5B, 15B y 16B en el claro norte y para las 9B y 13B que se encuentran en el claro sur no se rebasan los límites máximos permisibles y su presencia es notoria en las áreas donde se encuentran las isletas donde habitan principalmente las aves, portadoras de dichas bacterias.

Es de gran importancia realizar estudios microbiológicos al sedimento para darles una disposición final, ya que con los resultados que se obtuvieron no son suficientes, sin embargo, se recomienda realizar un desasolve al lago para eliminar el exceso de sedimento ya que para algunos puntos el sedimento esta contaminado con materia fecal y es necesario darle mantenimiento al lago.

Éste sedimento puede ser clasificados desde el punto de vista microbiológico y solamente considerando a los coliformes totales y fecales, como un sedimento de clase C son



excelentes y son usados para actividades urbanas sin contacto público directo, uso forestal, mejoramiento de suelos y usos agrícolas.

Tablas 6.5 Resultados para coliformes en sedimento por la técnica Filtración de Membrana

Estación de muestreo	Unidad Formadora de colonias 17-10-07 (UFC/g)		Unidad Formadora de colonias 23-11-07 (UFC/g)	
	Coliformes totales	Coliformes fecales	Coliformes totales	Coliformes fecales
Entrada de agua	0	0	1000	0
1B	5000	3000	2000	0
2B	0	0	0	0
3B	2000	0	0	0
4B	0	0	0	0
5B	0	0	1000	0
6B	0	0	0	0
7B	0	0	0	0
8B	2000	0	0	0
9B	0	0	0	0
10B	0	0	0	0
11B	0	0	0	0
12B	2000	0	0	0
13B	0	0	0	0
14B	0	0	0	0
15B	0	0	4000	3000
16B	0	0	3000	2000
17B	0	0	0	0
18B	0	0	2000	2000
19B	1000	0	2000	0
20B	0	0	6000	0
21B	0	0	6000	4000
22B	0	0	0	0



Tabla 6.6 Resultados para coliformes en sedimento por la Técnica Cromogénica,

Punto de muestreo	Unidad Formadora de Colonias (UFC)/g	
	Coliformes totales	Coliformes fecales
1B	1500	200
2B	2100	0
3B	400	200
4B	700	600
5B	2700	500
6B	0	0
7B	0	0
8B	0	0
9B	1400	600
10B	0	0
11B	0	0
12B	0	0
13B	900	400
14B	400	0
15B	1200	400
16B	1800	600
17B	0	0
18B	0	0
19B	0	0
20B	0	0
21B	100	0
22B	0	0

6.4 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que el lago tiene problemas de contaminación orgánica, lo que hace necesario realizar un tratamiento biológico con el fin de disminuir dicha contaminación y que el lago siga funcionando con fines recreativos.



Dados estos resultados se recomienda instalar humedales artificiales son sistemas en los que con plantas emergentes como carrizos y juncos proporciona la formación de películas bacterianas que permiten fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, se logra un abatimiento microbiano considerable y los costos de operación y mantenimiento son bajos en cuanto a energía y suministros. Lo que hace que este tratamiento sea el más factible para disminuir la contaminación orgánica del lago, ya que se cuenta con disponibilidad de terreno para su construcción lo que disminuye los gastos de inversión, haciendo un lugar más atractivo para los animales y los visitantes.



CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



7.1 CONCLUSIONES

Se logró determinar la presencia de coliformes totales y fecales en agua y sedimento del Lago del Bosque de San Juan de Aragón, de acuerdo a la normatividad mexicana.

Se encontró que existe un problema de contaminación fecal tanto en el agua como en el sedimento, ya que para algunas muestras rebasan los límites máximos permisibles que dictan la NOM-003-SEMARNAT-1997 y la NOM-004-SEMARNAT-2004 respectivamente, la zona donde mayoritariamente rebasan éstos límites son las zonas donde se encuentran las isletas y el embarcadero, llegando a la conclusión que una de las causas de esta contaminación es la alta población de aves que habitan en el lago siendo estos animales portadores de bacterias coliformes.

Se requiere realizar un desasolve al lago ya que se encuentra exceso de sedimento lo que provoca malos olores en algunas áreas del lago, además de no cumplir con los límites máximos permisibles para coliformes fecales en algunas estaciones de muestreo.

El agua del lago es para uso recreativo y se encuentra contaminado con materia orgánica, por lo que lo recomendable es implementar un humedal artificial para el tratamiento del agua. El lago cuenta con un amplio terreno donde sería posible su construcción reduciendo los costos de inversión, además de ser un proceso de bajo costo en cuanto a gastos operación y mantenimiento, ya que su característica fundamental es que sus funciones son principalmente reguladas por microorganismos y su metabolismo, la biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes, lo que permite disminuir la contaminación orgánica.

Se recomienda diseñar un humedal, ya que con éste se puede disminuir la cantidad de contaminación fecal en las zonas más contaminadas y de esta manera mejorar el ecosistema que se encuentra dentro del Lago.

Crear conciencia en las personas que visitan el lago para que no desechen basura dentro del cuerpo de agua y si es necesario aplicar medidas más estrictas de vigilancia.

Realizar un estudio microbiológico al agua que proporciona la planta de Tlacos ya que puede ser que su sistema de tratamiento no sea eficiente y este aportando contaminantes al lago.



REFERENCIAS

- Análisis microbiológico del agua, 2006
<http://www.ubu.es>
- Arango, 2003. Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de *salmonella* en aguas servidas Domésticas. Santiago Chile
- CIESE, 2006. Center for Innovation in Engineering and Science Education
www.k12science.org
- CYTED, 2003. Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología, Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas.
www.cytmed.com
- Durán D., tratamiento biológico de aguas residuales de la industria química y de proceso. Facultad de Química, UNAM, Junio 1994.
- EPA. 1986. Summary Report: Sequencing batch reactor. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio: Technology transfer Report EPA.
- Google Earth, 2008
- Hernández M, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. Madrid, Colegio de Ingeniería de Caminos, canales y puertos.
- Ingeniería sin fronteras, 2004. Manual para el control de la calidad del agua, Santiago Chile.
- Lara B. 2008 Depuración de agua residuales municipales con humedales ratificales
www.geocities.com



- Madigan T, John M, Parker J, Brock Biología de los microorganismos, 10 a. Edición Editorial Pearson, S.A., Madrid España, 2004. Pp 927-940
- Marsilli, 2005 Tratamiento de aguas residuales,
www.tierramor.org
- MCJunkin F.E. 1988. Agua y salud humana. OPS/OMS. Edición Limusa México.
- Prescott P. Microbiología, 4ta. Edición, Editorial Mc Graw Hill Interamericana, Madrid 1999. Pp 111-120
- Secretaria del medio ambiente, 2003
www.sma.df.gob.mx
- Secretaria de salud, 1998, 2002, 2006
www.salud.gob.mx
- Semarnat, 1997, 1999, 2002, 2006
www.semarnat.gob.mx
- Secretaria de comercio y fomento industrial, 2005.
www.sagarpa.gob.mx
- Sonntang P. y Schuchmann L 1992. En: Hernández M., Aurelio. 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. Madrid, Colegio de Ingeniería de Caminos, canales y puertos.
- Universidad de Córdoba, 2007, Guia Kit para Análisis del Agua
educar.sc.usp.br



- Water Proyect, 2003

www.seed.slb.com

- Winkler M., Tratamientos biológicos de aguas de desecho. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Survey, Editorial Limusa, México, 1999.