



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

2ej

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

DETERMINACION DE Streptococcus faecalis, COLIFORMES TOTALES Y FECALES Y CUENTA ESTANDAR EN LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS PROCEDENTES DE UN TRATAMIENTO FISICOQUIMICO

T E S I S

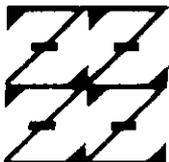
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P R E S E N T A ;

SAMUEL DIAZ RUIZ

UNAM FES ZARAGOZA



LO HEREDADO ES DE NUESTRA RESPONSABILIDAD

MEXICO, D. E.

277251

1999

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



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.

AGRADECIMIENTOS.

AL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM, EN ESPECIAL AL MAESTRO IGNACIO MONJE POR SU INTERMINABLE PACIENCIA Y LA GRAN DISPOSICIÓN PRESTADA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

A LA DIRECCIÓN TÉCNICA DE DESECHOS SÓLIDOS PERTENECIENTE A LA DIRECCIÓN TÉCNICA DE DESECHOS SÓLIDOS (DGESU).
DIRECTOR: Dr. RAÚL SERGIO CUELLAR SALINAS.
SUBDIRECTOR: ING. CONRADO SARMIENTO BLEICHER.

AGRADEZCO LOS COMENTARIOS Y SUGERENCIAS DE:

Q. CARLOS SALVADOR VALADÉZ

Q.F.B. JOSÉ OSCAR GONZÁLEZ MORENO

Q.F.B. Ma. DE LAS MERCEDES ZAMUDIO DURÁN

Q.F.B. LUIS ALFREDO MORA GUEVARA

A MI MADRE

QUE ME HA DADO EL AMOR MÁS GRANDE QUE SE PUEDE TENER, Y ME HA BRINDADO EL APOYO Y CONFIANZA EN TODO MOMENTO. GRACIAS. CON TODO MI CARIÑO.

A MI ABUELITA (q.e.p.d.)

ALGUNA VEZ TE PROMETÍ ESTO Y AHORA ES REALIDAD. MUCHAS GRACIAS.

A MI PADRE

QUE HA SU MANERA SIEMPRE ME HA MOSTRADO EL CAMINO A SEGUIR Y ESTÁ CONMIGO. CON TODO MI RESPETO.

A MIS HERMANAS

LETY Y LAURA ESTOY ORGULLOSO DE TENERLAS COMO MIS HERMANAS, GRACIAS POR SU APOYO Y COMPENSIÓN.

A BEATRIZ

GRACIAS CIELO POR TODOS ESOS MOMENTOS QUE ME HAS DADO, A TI DEBO MUCHO DE LO QUE SOY. TE QUIERO MUCHO.

A MIS AMIGOS

MIGUEL ANGEL, FERNANDO, RODRIGO, DAVID R., CON QUIENES HE COMPARTIDO RISAS Y MÁS, GRACIAS POR EL ALIENTO QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO.

A GUILLERMO V, ANGEL R. Y CARLOS S.

GENTE INVALUABLE QUE DESINTERESADAMENTE ME DIERON SUS CONSEJOS Y RESPALDO CUANDO LO NECESITÉ. MUCHAS GRACIAS.

A MIS PRIMOS VIRGINIA Y ANTONIO

QUE ME GUIARON EN LOS PRIMEROS PASOS ACADÉMICOS.

A JOSE LUIS

PORQUE SÓLO NOS FALTÓ LA SANGRE PARA SER HERMANOS POR COMPLETO. GRACIAS POR LA AMISTAD QUE SIEMPRE ME HAS OFRECIDO.

A SAMUEL

QUE SIEMPRE ME HA TRANSMITIDO LA DETERMINACIÓN PARA ALCANZAR CUALQUIER META. SIGAMOS ASÍ.

**DETERMINACIÓN DE Streptococcus faecalis,
COLIFORMES TOTALES Y FECALES Y CUENTA
ESTÁNDAR EN LIXIVIADOS DE RELLENOS
SANITARIOS PROCEDENTES DE UN
TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO.**

TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Fundamentación teórica.	
3.1. Lixiviados de rellenos sanitarios	3
3.1.1. Generación	3
3.1.2. Impacto ambiental	5
3.1.3. Control y Tratamiento	7
3.2. Pruebas bacteriológicas de contaminación	11
3.2.1. Indicadores de contaminación biológica	12
3.2.2. Características de los microorganismos indicadores	13
3.3. Técnicas bacteriológicas	16
3.3.1. Técnica de cuenta estándar en placa	17
3.3.2. Técnica de fermentación en tubos múltiples	19
4. Planteamiento del problema.	20
5. Objetivos.	21
6. Hipótesis.	22
7. Metodología.	23
8. Resultados	31
9. Discusión de resultados	47
10. Conclusiones	53
11. Recomendaciones	54
12. Anexos	55
13. Bibliografía	57

1. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar la presencia de *Streptococcus faecalis*, grupo coliforme y la cuenta total en lixiviados de rellenos sanitarios para evaluar la eficiencia de un tratamiento fisicoquímico (acidificación, neutralización y coagulación con sales metálicas) en el control de microorganismos patógenos.

La metodología utilizada consistió en: toma de muestras de lixiviados de la planta del relleno sanitario Bordo Poniente, simulación de las condiciones originales de operación del tren de tratamiento y de las alternativas propuestas al mismo⁽¹⁹⁾, esto a escala laboratorio, y el análisis de los indicadores bacteriológicos antes mencionados.

En la caracterización bacteriológica del lixiviado, se observó la variación de las cuentas detectadas según la época del año, en las cuentas totales se detectan valores del orden de 10^6 a 10^8 , los coliformes totales van desde 10^6 y 10^7 , los coliformes fecales de 10^2 a 10^4 mientras que para los *S. faecalis* en el intervalo de 10^4 a 10^5 .

Para determinar el efecto de cada uno de los tratamientos en la remoción de microorganismos fue necesario simular las condiciones específicas de cada uno (a escala laboratorio) y realizar la determinación de los indicadores al final de cada etapa; los resultados obtenidos permitieron observar claramente los perfiles de eliminación para cada tratamiento.

El análisis estadístico de los resultados experimentales permitió demostrar que se puede emplear cualquiera de los tratamientos alternos sugeridos sin alterar la calidad bacteriológica del efluente final.

Al eliminarse totalmente la presencia de los indicadores de contaminación fecal, se considera que el efluente obtenido está libre de una gran cantidad de bacterias patógenas que pueden afectar la salud pública.

2. INTRODUCCION

El crecimiento de las grandes ciudades como la Ciudad de México, trae consigo diversos problemas, entre los que se encuentra la enorme producción de basura y la disposición de la misma en lugares seguros. Hoy en día el relleno sanitario se presenta como la alternativa más viable, técnica y económicamente, para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

La generación de subproductos tales como los lixiviados y biogás en los rellenos sanitarios, forman parte de los procesos de estabilización de la basura y debido al impacto que éstos ocasionan al ambiente es que tienen que ser estrictamente controlados. De dichos subproductos, los de mayor impacto son los primeros ya que son corrientes líquidas altamente complejas que pueden contaminar fuentes de agua, principalmente subterránea ocasionando problemas ambientales y de salud cuando no se tienen los controles adecuados. Este último aspecto es de suma importancia en zonas donde el abastecimiento de agua es principalmente a partir de estas fuentes.

La composición de un lixiviado está determinada por el tipo de desechos confinados, la edad del relleno y por las condiciones meteorológicas de la zona. Dicha composición es la que determina el o los tipos de tratamiento requeridos para reducir su potencial contaminante. Formando parte de un lixiviado podemos encontrar iones metálicos, materia orgánica y contaminantes biológicos tales como las bacterias, virus, protozoarios y helmintos.

Con el fin de minimizar el potencial contaminante de los lixiviados es que se diseña y construyen plantas de tratamiento. Un ejemplo de ello es la planta ubicada en el relleno sanitario Bordo Poniente de la ciudad de México donde se tratan los lixiviados que se generan en las etapas I y II de este sitio. Esta última presentaba algunos problemas de operación derivados de un alto consumo de reactivos, por lo cual fue revisada y modificada para su buen funcionamiento ⁽¹⁹⁾.

En el presente documento, se describen los resultados de un estudio realizado con la finalidad de evaluar los efectos de las modificaciones químicas hechas al proceso sobre la calidad microbiológica en el efluente final.

3 FUNDAMENTACION TEORICA

3.1 LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS

Los rellenos sanitarios son obras de ingeniería diseñadas para la disposición final de residuos sólidos municipales de manera segura, esto con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.

La generación de lixiviados y la producción de biogás son el resultado de las transformaciones que experimentan los residuos sólidos durante su estabilización esto mediante procesos fisicoquímicos y biológicos. En este último caso inicialmente son de tipo aerobio y de muy corta duración, generando bióxido de carbono, agua, nitritos y nitratos como productos característicos.

A medida que el oxígeno se va agotando, organismos facultativos y anaerobios comienzan a predominar, favoreciendo así la descomposición de los residuos orgánicos bajo condiciones anaerobias. Los productos característicos de esta fase son ácidos orgánicos, nitrógeno molecular, bióxido de carbono, metano y en mucho menos proporción, ácido sulfhídrico ^(1,3,5).

El biogás es una mezcla de los gases generados por la descomposición anaerobia y se encuentra compuesto principalmente por metano y bióxido de carbono^(1,5).

3.1.1 Generación

Los lixiviados se forman principalmente por el agua de lluvia que percola a través de los residuos contenidos en los rellenos sanitarios, así como por la incorporación de corrientes superficiales. Se caracterizan por ser una corriente líquida altamente compleja con alto contenido de materiales orgánicos e inorgánicos suspendidos o disueltos.

Durante la percolación de agua, se llevan a cabo fenómenos físicos y químicos que solubilizan los componentes químicos presentes en los residuos sólidos, por lo que la concentración de éstos en los lixiviados es muy alta.

Otro tipo de contaminantes que se suman a los ya mencionados son las bacterias, virus, protozoarios y helmintos ⁽³⁾.

Es importante mencionar que la generación de lixiviados se ve también favorecida por la humedad de los propios residuos sólidos y por la incorporación de agua superficial y subterránea en algunos casos.

En la fig. 1 se describe gráficamente el mecanismo mediante el cual se forman los lixiviados.

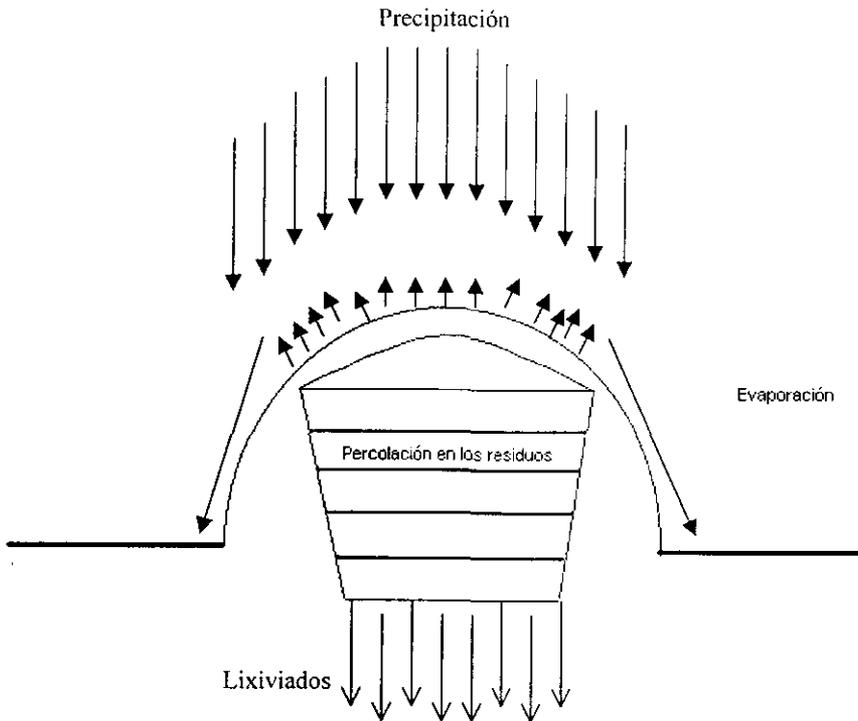


Fig. 1 Generación de lixiviados en rellenos sanitarios

Los factores principales que determinan la calidad del lixiviado son:

- la composición de la basura,
- la edad del relleno sanitario,
- las condiciones climatológicas.

Los lixiviados de rellenos sanitarios tienen un mayor potencial contaminante comparado con otras corrientes contaminantes (efluentes industriales, aguas residuales municipales), generalmente presentan una DBO₅ de 1000 a 30000 mg/L ⁽¹⁵⁾. Su flujo y composición varía de acuerdo a la estación del año (época de lluvia o de estiaje) ⁽¹⁷⁾.

Las características fisicoquímicas de los lixiviados cambian a lo largo de la vida útil del relleno sanitario y durante la estabilización de los residuos sólidos, como consecuencia del grado de descomposición del material orgánico biodegradable y de la solubilización de compuestos orgánicos e inorgánicos.

En la tabla 1 se puede observar la diferencia de las características fisicoquímicas de un lixiviado y un agua residual típica.

Tabla 1. Comparación entre la composición de un lixiviado y de aguas residuales domésticas⁽²¹⁾ *(mg/L excepto donde se indique)

Constituyentes*	Lixiviado fresco (300 días)	Lixiviado >5 años	Aguas residuales	Relación
SST	327	266	200	1.6
SDT	12620	1144	---	---
Conductividad (µmhos/cm)	9200	1400	700	13
pH	5.2	7.3	8	---
DQO	22650	8180	500	45
DBO ₅	14950	100	200	75
COT	6500	70	200	32
Cloruros	742	197.4	50	15
Calcio	2136	244	50	43
Magnesio	277	81	30	9
Hierro total	500	1.5	0.1	5000
Manganeso	49	---	0.1	490
Zinc	45	0.16	---	---
Cobre	0.5	0.1	---	---

Fuente: "Curso de disposición final de residuos sólidos", DEPFI-UNAM, 1994.
SST= Sólidos Suspendidos Totales, SDT= Sólidos Disueltos Totales.

3.1.2 Impacto ambiental

Como ya se mencionó anteriormente, el impacto principal de los lixiviados sobre el medio ambiente es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, que puede darse por escurrimientos o infiltraciones no controladas hacia el subsuelo o sitios aledaños al relleno sanitario^(21, 22).

La contaminación de los acuíferos provoca que éstos no se puedan utilizar por largo tiempo ya que su regeneración requiere de muchos años.

Los diversos elementos reactivos de los lixiviados tales como ácidos, sales e inclusive microorganismos, pueden favorecer la solubilización de rocas calizas, carbonatos o anhídritas, agrietar arcillas, colapsar terrenos arenosos y mineralizar suelos, modificando su estabilidad y permeabilidad.

En adición a los potenciales problemas de toxicidad química, la presencia de especies patógenas y la posibilidad de que éstas puedan migrar hacia los acuíferos ha sido reconocida, particularmente se han detectado bacterias hasta una distancia de 100 m de los rellenos sanitarios.

Los organismos patógenos comunes en los residuos sólidos van desde bacterias, virus, protozoarios y helmintos. De acuerdo con Engelbrecht y Amirhor, 1996 ⁽²³⁾ el potencial contaminante de este tipo de sistemas depende de tres factores: 1) de la cantidad y naturaleza de los organismos patógenos encontrados en el relleno, 2) de la capacidad que tienen para sobrevivir y retener sus propiedades infecciosas y 3) de su capacidad para migrar del sitio de relleno sanitario al ambiente circundante.

Engelbrecht y Amirhor reportan que las bacterias más frecuentes son:

Staphylococcus aureus
Streptococcus faecalis
S. durans
S. equinis
S. pneumoniae
Estreptococos hemolíticos
Salmonella enteritidis
S. typhimurium
S. saint-paul
S. heidelberg
S. montevideo, y
Proteus sp.

El contenido de bacterias de un lixiviado particularmente el número de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales y cuenta total en placa, varía drásticamente con la edad y propiedades químicas del lixiviado. Similarmente ocurre con el grado y la velocidad de inactivación de virus.

En general la sobrevivencia microbiana en este tipo de corrientes está determinada por la combinación de factores tales como la temperatura, el pH, la presencia de antagonistas químicos y biológicos, y la edad del relleno ⁽²³⁾.

Estos mismos autores encontraron que la sobrevivencia de bacterias entéricas patógenas depende del pH y la temperatura. Así a pH 5.3 y 22 °C el orden de estabilidad es *Salmonella typhimurium* > estreptococos fecales >> coliformes fecales y a pH 7, estreptococos fecales > *Salmonella typhimurium* >> coliformes fecales.

Cuando la temperatura se eleva a 55 °C el orden de estabilidad es: *Salmonella typhimurium* > estreptococos fecales >> coliformes fecales, en este caso es independiente del pH.

Estos resultados sugieren que los lixiviados por sí mismos tienen un efecto significativo en la inactivación de organismos patógenos. Cabe hacer notar que esta capacidad de inactivación dependerá en gran medida de las características fisicoquímicas de cada lixiviado.

Lo anterior nos dice que si una bacteria o un virus patógeno tiene la capacidad de sobrevivir bajo tales condiciones, el riesgo de afectación de fuentes de agua y por lo tanto a la salud humana, estará en función de su sobrevivencia y migración a través de las capas circundantes.

Es importante hacer notar que anteriormente, en muchas ocasiones residuos hospitalarios y biológico infeccioso, eran confinados en rellenos sanitarios sin tratamiento alguno. Por lo que los lixiviados que se generaban como parte de la estabilización de dichos sitios eran aún más peligrosos.

Siendo el agua subterránea una de las fuentes principales de abastecimiento para consumo humano y debido a que es uno de los principales portadores de microorganismos patógenos que ponen en peligro la salud y la vida de los consumidores, es de vital importancia el evitar su contaminación por lixiviados ⁽⁴⁾.

3.1.3 Control y tratamiento

El control de lixiviados en los rellenos sanitarios se lleva a cabo mediante la impermeabilización de las celdas que componen el relleno, empleando materiales naturales de baja permeabilidad o membranas sintéticas (geomembranas), y mediante la instalación de redes de captación colección en el fondo del relleno. De esta manera se evita por una parte la migración de lixiviados y por otra, se tiene la opción de someterlas a un tratamiento que permita minimizar su potencial contaminante.

La selección de sistemas de tratamiento depende en gran parte de la composición química del lixiviado así como de la calidad y disposición final del efluente tratado. La composición es a su vez función del tipo de residuos sólidos que lo generan, además de factores tales como la operación del relleno sanitario, las condiciones climatológicas, la geohidrología de las vecindades del sitio de disposición y de las condiciones prevalecientes dentro del relleno (eventos químicos y biológicos, humedad, temperatura, pH y grado de estabilización de los residuos).

Los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales municipales también son usados en la depuración de lixiviados, esto es, la aplicación de sistemas biológicos (sistemas aerobios y anaerobios) y métodos fisicoquímicos (precipitación, coagulación - floculación, oxidación química, y osmosis reversa).

Las características del lixiviado determinan el diseño y la complejidad del sistema de tratamiento a utilizar ⁽¹⁾.

En la tabla 2 se muestra una relación de parámetros a evaluar en un lixiviado, lo cual da una idea de la complejidad de estas corrientes.

Tabla 2. Parámetros de calidad de lixiviados.

Físicos	Constituyentes orgánicos	Constituyentes Inorgánicos	Biológicos
Apariencia	Compuestos orgánicos	Sólidos suspendidos (SS)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
pH	Fenoles	Sólidos disueltos totales (SDT)	Bacterias coliformes (totales, fecales,
Potencial oxidación-reducción	Demanda química de oxígeno (DQO)	Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estreptococos fecales)
Conductividad	Carbón orgánico total (COT)	Sólidos disueltos en placa volátiles (SDV)	Conteo estándar
Color	Acidos volátiles	Cloruros	
Turbidez	Nitrógeno orgánico		
Temperatura	Eter soluble		
Olor	Sulfatos		
Sustancias activas al azul de metileno (MBAS)	Fosfatos		
Hidrocarburos clorados	Alcalinidad y acidez		
Nitratos			
Nitritos			
Amoniaco			
Sodio			
Potasio			
Calcio			
Magnesio			
Dureza			
Metales pesados			
Arsénico			
Cianuros			
Fluoruros			
Selenio			

Tchobanoglous (1993)⁽⁵⁾

De acuerdo con la literatura, los métodos fisicoquímicos son particularmente efectivos en el tratamiento de lixiviados estabilizados con relaciones $DBO_5/DQO \leq 0.1$. Las ventajas con respecto a los biológicos es que presentan una mayor flexibilidad y una mayor velocidad de reacción⁽³⁾.

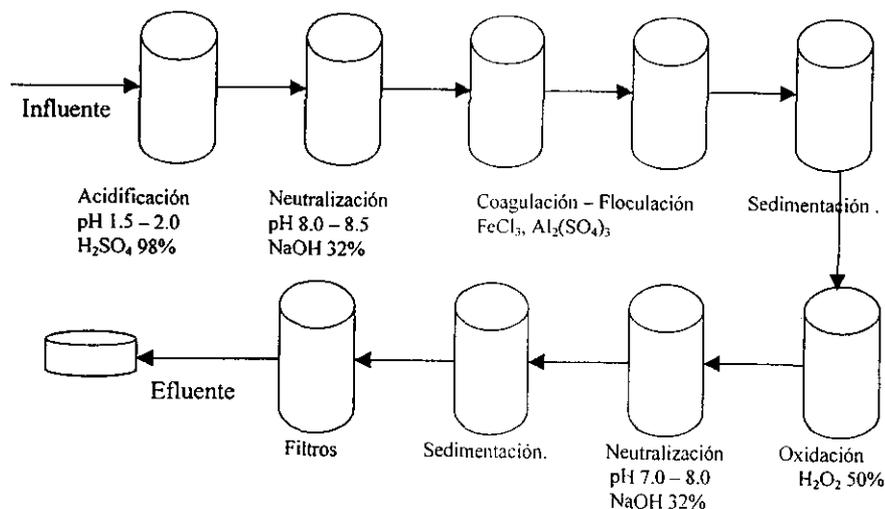
En el caso particular de los lixiviados, generalmente se requiere de la combinación de varios métodos para lograr buenas eficiencias de remoción.

Un aspecto que ha recibido poca atención, pero que sin duda es importante en el tratamiento de lixiviados es la calidad microbiológica del efluente final.

Algunos métodos fisicoquímicos (cambios drásticos de pH, precipitación, oxidación, etc.) bajo ciertas condiciones, pueden tener un efecto sobre el control de microorganismos no deseables o patógenos.

Un ejemplo del uso de los métodos fisicoquímicos para el procesamiento de lixiviados es la planta del relleno sanitario Bordo Poniente ubicado en la zona del exlago de Texcoco. En este sitio se tiene una planta de tratamiento con capacidad de 1.5 L/s, compuesta por dos trenes en paralelo donde se trata el lixiviado de las etapas I y II. El tren de tratamiento está compuesto por una serie de etapas cuya descripción se da en la Figura 2.

Fig. 2 Tren de tratamiento utilizado en la planta de Bordo Poniente.



En este caso particular los microorganismos presentes en el lixiviado son sometidos a cambios drásticos de pH, particularmente en la región ácida (de pH 8.0 a 1.5 - 2.5). Otra de las etapas importantes dentro del tren es la coagulación - floculación con sales de hierro y aluminio, en donde algunos de los microorganismos son eliminados durante la precipitación de materia, principalmente por arrastre. Finalmente se tiene una oxidación química con peróxido de hidrógeno que si bien no se utiliza como un desinfectante, resulta ser un fuerte oxidante que ayuda a la remoción de microorganismos patógenos.

El efluente final es utilizado para el riego de caminos del mismo relleno y así como de sus áreas verdes.

El proceso de tratamiento resulta ser eficiente en la remoción de materia orgánica, eliminación turbiedad y color. Desde el punto de vista microbiológico la calidad del efluente final es también eficiente, de acuerdo con el análisis de algunos indicadores biológicos reportados, ver tabla 3.

Tabla 3. Resumen de datos de calidad de los lixiviados en las diferentes etapas del tren de tratamiento de la planta de Bordo Poniente.

								11-Mar-97	
Parámetro	Unidad	Influyente	Neut. 1ª	Sedim. 1ª	Oxidación	Sedim. 2ª	Efluente		
pH		8.26	9.81	4.17	4.24	8.01	8.41		
Conduc. Elec.	mmhos/cm	46.5	82.8	69.4	72.8	64.9	68.7		
DBO Total	mg/L	2051	955	53	51	67	62		
DBO Soluble	mg/L	1691	966	62	81	31	69		
DQO Total	mg/L	3840	3240	1640	1400	552	400		
DQO Soluble	mg/L	3400	3120	1560	1280	520	320		
Microbiológicos									
S. faecalis	UFC/100mL	4000	10	10	ND	ND	ND		
Colif. Totales	NMP/100mL	4000	100	10	ND	ND	ND		
Colif. Fecales	NMP/100mL	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
								10-Jun-97	
Parámetro	Unidad	Influyente	Neut. 1ª	Sedim. 1ª	Oxidación	Sedim. 2ª	Efluente		
pH		8.3	6.88	8.29	6.88	7.18	7.43		
Conduc. Elec.	mmhos/cm	34.7	81.1	60.4	59.7	56.1	56.7		
DBO Total	mg/L	7700	7200	1935	898	767	848		
DBO Soluble	mg/L	7650	7100	1907	687	752	734		
DQO Total	mg/L	16000	15750	4168	1600	1650	1808		
DQO Soluble	mg/L	14250	13000	4000	600	1100	1000		
Microbiológicos									
S. faecalis	UFC/100mL	4000	ND	ND	ND	ND	ND		
Colif. Totales	NMP/100mL	1700	200	230	10	10	10		
Colif. Fecales	NMP/100mL	10	10	10	10	10	10		
								26-Jun-97	
Parámetro	Unidad	Influyente	Neut. 1ª	Sedim. 1ª	Oxidación	Sedim. 2ª	Efluente		
pH		8.53	7.83	7.06	7.29	7.49	7.58		
Conduc. Elec.	mmhos/cm	34.9	54.1	55.3	45.3	53.2	54		
DBO Total	mg/L	4998	1042	2822	705	976	263		
DBO Soluble	mg/L	4980	935	2601	697	968	275		
DQO Total	mg/L	5793	5793	3591	2738	4210	3452		
DQO Soluble	mg/L	5317	3095	3472	1668	1151	3234		
Microbiológicos									
S. faecalis	UFC/100mL	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
Colif. Totales	NMP/100mL	400	200	20	10	10	10		
Colif. Fecales	NMP/100mL	10	10	10	10	10	10		

Fuente: Dirección general de Servicios urbanos, DGESEU.

Sin embargo, uno de los principales problemas que se tiene con esta planta es el alto consumo de reactivos químicos que demanda el proceso, lo cual se traduce en altos costos de operación.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM⁽¹⁹⁾, realizó un estudio de investigación orientado a disminuir el requerimiento de reactivos. Se encontró que la etapa de acondicionamiento inicial del lixiviado (acidificación - neutralización) y la de coagulación- floculación, podían ser modificadas manteniendo las mismas eficiencias de remoción de parámetros fisicoquímicos. En la tabla 4 se resumen las principales propuestas de modificaciones realizadas al tren de tratamiento original.

Tabla 4. Propuestas de modificaciones al tren de tratamiento

Etapa	Normal (1A)	1B	2B	3A	3B
Acid. TRH=2 hrs.	pH≈1.5 – 2.0	pH≈1.5 – 2.0	pH≈4.5	pH≈5.8	pH≈5.8
Neut. TRH=30 min	pH≈ 8.0 – 8.5	pH≈ 8.0-8.5	pH≈8.0-8.5	-----	-----
Coag-Floc. TRH=30 min.	Al ₂ (SO ₄) ₃ =738 mg/L FeCl ₃ =1136 mg/L pH≈4.0-4.5	FeCl ₃ =1136-1800 mg/L pH≈4.0-4.5	FeCl ₃ =1136-1800 mg/L pH≈4.0-4.5	Al ₂ (SO ₄) ₃ =738 mg/L FeCl ₃ =1136mg/L pH≈4.0-4.5	FeCl ₃ =1136-1800 mg/L pH≈4.0-4.5
Sedim. TRH=30 min.	pH≈4.0-4.5	pH≈4.0-4.5	pH≈4.0-4.5	pH≈4.0-4.5	pH≈4.0-4.5

Nota: Los TRH (Tiempos de Retención Hidráulicos) son los mismos para los casos correspondientes.
(----): Se elimina la etapa de neutralización.

3.2 PRUEBAS BACTERIOLÓGICAS DE CONTAMINACIÓN

Con la progresiva demanda de recursos hidrológicos y la descarga de aguas residuales no controladas, es de esperar que aumenten las posibilidades de contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea por microorganismos entéricos. De hecho se siguen produciendo brotes epidémicos de enfermedades de transmisión hídrica.

Entre las bacterias que se transmiten por aguas naturales y residuales, se encuentran *Salmonella*, *Shigella*, *Campilobacter*, *Escherichia coli* enteropatógeno, *Vibrio cholerae*, *Leptospira* y *Yersinia*. De descubrimiento reciente, la familia *Legionellaceae*, aunque no entérica también está ampliamente distribuida en el medio hídrico, y se han detectado brotes epidémicos de neumonía asociados con el agua superficial y la transmisión por aerosoles ^(4,9,10,11).

Con respecto a las pruebas bacteriológicas de contaminación en agua potable y aguas residuales, no se recomienda realizar estudios en busca de bacterias patógenas, ya que no existe un procedimiento específico capaz de aislar e identificar a todos estos microorganismos patógenos.

Por tanto, los casos negativos de un determinado patógeno se consideran provisionales mientras la metodología utilizada no sea lo suficientemente sensible como para determinar niveles bajos de estas bacterias.

Por ejemplo, las salmonelas son extraordinariamente comunes en el ambiente, pero las técnicas para su aislamiento requieren de procedimientos relativamente complicados que superan las posibilidades de muchos de los laboratorios que las estudian ⁽⁶⁾.

El análisis sistemático de las aguas limpias y residuales para determinar patógenos está limitado por factores tales como la falta de instalaciones, un personal poco entrenado, costos elevados y métodos inadecuados. A la vista de todo ello, parece exponerse la necesidad de llevar a cabo una exhaustiva investigación en el campo.

3.2.1 Indicadores de contaminación biológica

Los análisis rutinarios tienen como objetivo determinar la existencia de microorganismos patógenos en el agua, sin embargo esto no es del todo cierto por las siguientes razones ^(4,11):

- Los organismos patógenos llegan al agua en forma esporádica y no sobreviven mucho tiempo, por lo tanto pueden no estar en una muestra analizada.
- Si se encuentran en pequeñas cantidades, pueden pasar desapercibidos a los procedimientos empleados.
- Se necesitan 24 h o más para obtener resultados de los análisis y si se encuentran microorganismos patógenos, entonces muchas personas pueden haber estado expuestas a una infección.

Se sabe que los microorganismos patógenos encontrados en el agua proceden de las descargas intestinales de hombres y animales. Ciertas especies de bacterias, particularmente *Escherichia coli* y varios microorganismos similares, denominadas coliformes, estreptococos fecales (como *Streptococcus faecalis*) y *Clostridium perfringens*, son habitantes normales del intestino grueso en consecuencia siempre están en las materias fecales.

Así la presencia de cualquiera de estas especies en el agua se utiliza como una evidencia o un indicador de contaminación fecal, y por lo tanto el camino está abierto a los patógenos ya que éstos se encuentran también en la materia fecal.

Debido a que los análisis de laboratorio para detectar microorganismos patógenos en agua presentan las desventajas antes mencionadas, se han desarrollado nuevas técnicas. Por ejemplo la detección del grupo coliforme en excretas que ha probado ser satisfactorio en la práctica y tiene las siguientes ventajas:

- Los coliformes sobre todo *E. coli* habitan constantemente en el intestino humano en grandes cantidades. Se estima que una persona en promedio excreta al día miles de millones de estos microorganismos.
- Estos microorganismos viven más tiempo en el agua que los patógenos.

Obviamente una persona sana en general no elimina microorganismos patógenos, pero puede desarrollársele una infección intestinal y esos microorganismos aparecerán en las materias fecales. Así, la presencia de coliformes en el agua se toma como indicativo de que ésta ha sido contaminada peligrosamente.

La experiencia ha demostrado que el grupo coliforme es un buen indicador del grado de contaminación y, por tanto de la calidad sanitaria. Sin embargo la prueba de coliformes no siempre es un indicador adecuado de la inocuidad microbiológica del agua.

En algunos casos pueden aislarse microorganismos patógenos en aguas que contienen pocos o ningún coliforme. En las *Legionellaceae*, al no ser entéricas, no parece razonable esperar su relación con las bacterias fecales. No obstante, el análisis de coliformes ha sido y continua siendo una útil herramienta para valorar la calidad del agua ⁽⁶⁾.

3.2.2 Características de los microorganismos indicadores

Muchas bacterias presentes en los sistemas de agua son denominadas bacterias indeseables porque crean problemas de olor, color, sabores desagradables y la precipitación de compuestos insolubles que obstruyen el paso del líquido en las tuberías.

3.2.2.1 El grupo coliforme

Uno de los grupos importantes de bacterias que se encuentran en el tubo digestivo es la familia *Enterobacteriaceae*, o bacterias entéricas la cual se encuentra clasificada como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Bacilos anaerobios facultativos gram negativos⁽⁴⁾

Familia I.	Enterobacteriáceas
Género I	<i>Escherichia</i>
Género II	<i>Edwardsiella</i>
Género III	<i>Citrobacter</i>
Género IV	<i>Salmonella</i>
Género V	<i>Shigella</i>
Género VI	<i>Klebsiella</i>
Género VII	<i>Enterobacter</i>
Género VIII	<i>Hafnia</i>
Género IX	<i>Serratia</i>
Género X	<i>Proteus</i>
Género XI	<i>Yersinia</i>
Género XII	<i>Erwinia</i>

En este grupo encontramos algunos parásitos bacterianos como *Shigella* y *Salmonella*, otros oportunistas o patógenos ocasionales como *Proteus* y *Klebsiella*, y otros más, esencialmente saprófitos que normalmente habitan en el intestino y sólo bajo condiciones excepcionales producen enfermedad. En éste último grupo se encuentran *Escherichia* y *Enterobacter*.

Además muchas de estas bacterias son parásitas de animales y otras patógenas de las plantas a las que marchitan o causan reblandecimiento de las raíces. Muchas veces se les encuentran como saprófitas de plantas que contienen carbohidratos y están en putrefacción.

El grupo coliforme está integrado por los siguientes géneros de enterobacterias: *Escherichia*, *Edwardsiella*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Hafnia*, *Serratia*, *Erwinia*, *Arizona* y *Providencia* los cuales son bacilos aerobios y anaerobios facultativos gramnegativos, no esporulados que producen ácido y gas al fermentar la lactosa formando colonias con brillo metálico y crecen a una temperatura de 35 °C en 48 horas sobre un medio que la contiene.

Las bacterias del grupo de los coliformes se encuentran en el intestino y en las heces de los animales de sangre caliente, entre ellas suele haber gérmenes capaces de producir gas a partir de la lactosa en un medio de cultivo adecuado y a 44.5 ± 0.2 °C. Dado que los bacilos coliformes procedentes de otras fuentes no suelen producir gas en estas condiciones, tal criterio se utiliza para diferenciar el grupo fecal del grupo coliforme.

3.2.2.2 Streptococos fecales

El grupo de los enterococos fecales está formado por varias especies del género *Streptococcus*, como son: *S. faecalis*, *S. faecium*, *S. bovis*, *S. equinus*, *S. avium* y *S. gallinarum*. Presentan formas esféricas u ovoides de menos de 2 μm de diámetro, se presentan en pares o cadenas cuando se desarrollan en medios líquidos. Cepas ocasionalmente móviles en el grupo serológico D. Grampositivos, quimioorganotróficos, metabolismo fermentativo, anaerobios facultativos. Los requerimientos nutritivos mínimos son generalmente complejos (pero variables). Temperatura óptima, alrededor de 37 °C (4,10, 13)

El hábitat normal de los estreptococos fecales es el aparato digestivo de los animales de sangre caliente. Algunas especies de estreptococos predominan en determinadas especies de animales y no en otras, aunque no es posible diferenciar la fuente de contaminación fecal basándose en la proporción de los distintos estreptococos fecales encontrados.

El grupo de los enterococos es un subgrupo de los estreptococos fecales, formado por *S. faecalis*, *S. faecium*, *S. gallinarum* y *S. avium*. Los enterococos se diferencian del resto de los estreptococos por su capacidad para crecer en cloruro de sodio al 6.5 % a un pH de 9.6 y a 10 °C y 45 °C.

Por lo anterior, estos microorganismos se han utilizado junto a los coliformes fecales para diferenciar la contaminación fecal humana de la de otros animales de sangre caliente.

3.2.2.3 Bacterias productoras de limo

Muchas bacterias elaboran materiales gomosos o mucilaginosos como estructuras capsulares o como excreciones extracelulares. Los constituyentes orgánicos e inorgánicos del agua son los nutrientes de las bacterias que ayudan a determinar cómo se produce el limo y cuales microorganismos son los productores.

3.2.2.4 Ferrobacterias

Las ferrobacterias son de los microorganismos del agua más problemáticos. Transforman los compuestos solubles de hierro en insolubles (hidróxido férrico) los cuales se depositan alrededor de sus células como envoltura (*Sphaerotilus*) o son secretados para formar tallos o cintas pegadas a esas unidades (*Gallionella*). El depósito y acumulación de éstos materiales en los sistemas de tuberías acaba por obstruir el paso de agua. Las ferrobacterias además de producir limo, colorean el agua y la hacen fétida y de sabor desagradable.

3.2.2.5 Sulfobacterias o tiobacterias

Algunas sulfobacterias pueden producir y tolerar fuerte acidez. Las del género *Thiobacillus* oxidan el azufre a ácido sulfúrico y elevan la acidez a niveles de pH 1 el cual corroe las tuberías. *Desulfovibrio desulfuricans* reduce los sulfatos y otros compuestos de azufre a ácido sulfhídrico. Las bacterias reductoras del sulfato contribuyen en gran medida a las tuberculaciones y la corrosión galvánica de las conducciones de agua, y al gusto y olor desagradable del agua. *Thiobacillus* por su producción de ácido sulfúrico, ha contribuido a la destrucción de alcantarillas de hormigón y a la corrosión ácida de metales⁽⁶⁾.

3.2.2.6 Algas

Cuando el agua se expone a la luz, se desarrollan algas y entre sus características indeseables están producir turbidez, coloración, olor y sabor al agua. Casi siempre tapan los filtros, sobre todo las verde-azuladas y las verde-amarillentas también suelen hacerlo. Además producen sustancias tóxicas para hombres y animales.

3.2.2.7 Virus

El hombre excreta muchos virus por el tubo digestivo; estos virus salen con las aguas negras y, finalmente, llegan al agua potable. El grupo picornavirus es el más frecuente en las aguas residuales e incluye los de la poliomielitis, Coxsackie y Echo. El que produce la hepatitis infecciosa ha sido aislado de algunas aguas y ostiones; al seguirse el rastro de esa enfermedad se ha llegado hasta esas fuentes. La posibilidad de que las enfermedades virales, particularmente las entéricas, sean transmitidas por el agua plantea la necesidad de desarrollar métodos para evaluar la potabilidad desde el punto de vista virológico.

3.3 TÉCNICAS BACTERIOLÓGICAS

Los métodos para el examen bacteriológico del agua están descritos en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Como lo indica el título los métodos son tipo establecidos y los procedimientos deben seguirse al pie de la letra si se quiere que los resultados tengan éxito.

Es necesario cuidar los siguientes detalles cuando se sometan las muestras de agua a un análisis bacteriológico:

- La muestra deberá tomarse en frascos estériles.
- La muestra ha de ser representativa de la muestra original.
- Se evitará la contaminación de la muestra durante y después de obtenerla.
- La muestra se analizará lo más pronto posible.
- Si no es posible analizar la muestra deberá guardarse enseguida, en refrigeración entre 0 y 10°C.

Los procedimientos bacteriológicos de rutina son: *a) cuenta en placa para determinar el número de bacterias, y b) pruebas que revelen la presencia de bacterias coliformes.*

3.3.1 Técnica de cuenta estándar en placa

El recuento heterótrofo en placa proporciona un valor aproximado del número total de bacterias viables, lo cual proporciona una valiosa información sobre la calidad del agua y puede aportar datos que respalden el significado atribuido a los resultados de los análisis de coliformes.

El recuento heterótrofo en placa es útil para valorar la eficacia de los distintos procedimientos de tratamiento, de esta manera los *resultados indicarán la medida en que ha sido reducida la población microbiana*, por lo que puede tener una importante aplicación como parámetro de control en una planta de tratamiento.

Es útil para controlar la calidad final del agua en sistemas de distribución, como indicador *del crecimiento de microorganismos y de la acumulación de sedimento en secciones de circulación lenta y en extremos muertos.*

El procedimiento consiste en colocar una cantidad medida del inóculo a una caja petri (ver figura 1, p. 4). Después de ésto se agrega agar fundido y se aplica una agitación rotatoria para mezclar el inóculo. Cuando el medio se solidifica los microorganismos quedan atrapados en el agar. Se da por hecho que cada microorganismo se desarrolla y se reproduce hasta formar una masa visible de microorganismos, o sea una colonia; un organismo da origen a una colonia. De tal manera que el conteo de colonias en la placa, señala el número de bacterias viables en el inóculo.

Por lo general la muestra original se diluye de tal forma que el número de colonias que se desarrollen en la placa quede entre 30 y 300. De esta manera el conteo es más exacto y la posibilidad de interferencia en el desarrollo entre un microorganismo y otro es mínima (fig. 3, p. 18).

La técnica se basa en el principio de que cada organismo viable dará origen a una colonia y además se supone que la suspensión bacteriana es homogénea y que no contiene conglomerados de células. Obviamente las únicas bacterias que se cuentan son aquellas que pueden crecer en el medio utilizado y en las condiciones de incubación. Esta consideración es importante cuando se trata una mezcla de bacterias. Si las células tienen la tendencia a formar conglomerados, por ejemplo, racimos de cocos (estafilococos) o cadenas de cocos (estreptococos), la cuenta resultante será menor que el número de células individuales ya que cada conglomerado de células producirá una sola colonia. Por esta razón las "cuentas" se reportan como UFC (*unidades formadoras de colonias*) por cada 100 mililitros más que el número de bacterias por mililitros ^(4,10,11,12,13).

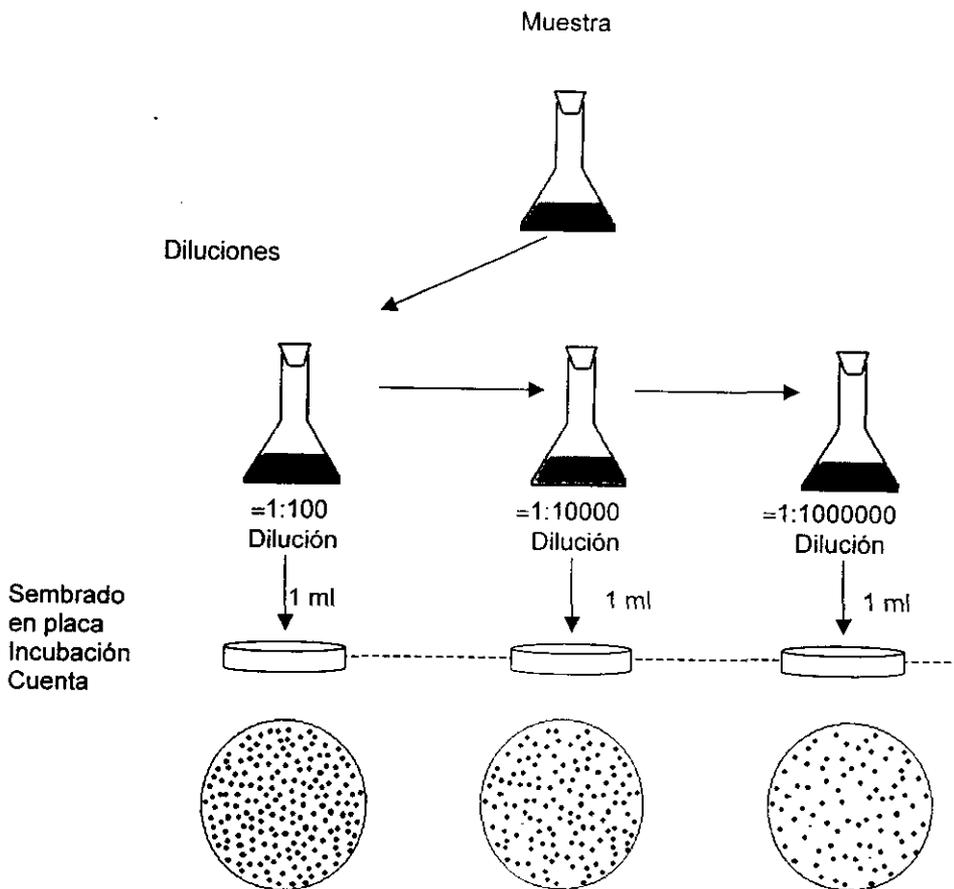


Fig. 3. Técnica de cuenta en placa.

Las muestras deben ingresar al laboratorio en frascos de vidrio color ámbar o bolsas de plástico previamente esterilizadas, preservadas con tiosulfato de sodio para neutralizar la acción del cloro o con EDTA (Etilen Diamin Tetra Acetato) para impedir el efecto de los metales sobre las bacterias.

3.3.2. Técnica de fermentación en tubos múltiples.

La prueba estándar para el grupo coliforme puede realizarse mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples, cuando la muestra es muy turbia.

En el caso de esta técnica, los resultados del estudio de los tubos y diluciones duplicados se reportan en términos del Número Más Probable (NMP) de microorganismos existentes el cual es un registro del número de bacterias que, con mayor probabilidad podría dar los resultados arrojados en el análisis efectuado; no se trata pues, de un número real.

La precisión de cada prueba depende del número de tubos utilizados. Se obtiene una información más satisfactoria cuando el mayor inóculo de muestras estudiado muestra gas en uno o en todos los tubos, y el más pequeño, muestra gas en ninguno o en la mayoría de los tubos. La densidad bacteriana puede calcularse mediante una fórmula o por medio de la tabla que utiliza el número de tubos positivos en las diluciones múltiples. Sin embargo, si la muestra no se ha agitado adecuadamente antes de hacer las diluciones o si existe agrupamiento de bacterias, el valor del NMP podrá resultar menor que el número real de densidad bacteriana.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente demanda de agua para el desarrollo de nuestras múltiples actividades, el agotamiento y deterioro de las fuentes de abastecimiento son parte de la problemática actual que vive nuestra ciudad.

Actualmente, el uso de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México es de aproximadamente 60 metros cúbicos por segundo (mcs). Aproximadamente 43 mcs, casi el 72 % del agua utilizada, se obtiene de distintas baterías de pozos que se encuentran explotando el acuífero de la Cuenca de México. Esto nos obliga por una parte a hacer un uso más racional de esta importante fuente, y por otra a protegerlas de cualquier contaminación.⁽¹⁸⁾

Como ya se mencionó anteriormente, los lixiviados de rellenos sanitarios representan una fuente de contaminación particularmente para las aguas subterráneas, si no se tiene un buen control y manejo adecuado de estos.

Con el fin de contribuir a la solución de esta problemática fue construida la planta de tratamiento de lixiviados Bordo Poniente donde se tratan los lixiviados que se generan en las Etapas I y II del relleno sanitario. Debido al alto consumo de reactivos el tren de tratamiento fue revisado y modificado; los estudios de calidad del efluente final indican que las eficiencias de remoción de parámetros fisicoquímicos se mantienen constantes ⁽¹⁹⁾.

Sin embargo, lo anterior no garantiza que la calidad microbiológica sea la misma, es por esta razón que en el presente trabajo se propone como tema de estudio el evaluar los efectos de dichos cambios sobre los sistemas biológicos presentes en los lixiviados, mediante la determinación de indicadores.

Considerando que la vida media de las bacterias patógenas suele ser menor a las no patógenas, los requerimientos de técnicas especializadas para su detección y aislamiento así como los tiempos de respuesta para obtener un diagnóstico de la calidad son largas y costosas, se propone el uso de indicadores biológicos tales como el grupo coliforme y los *Streptococcus faecalis* los cuales indican con su presencia, la posibilidad de contaminación fecal en el agua y consecuentemente la probable existencia de bacterias patógenas.

5 OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de un tratamiento fisicoquímico en el control de microorganismos patógenos en lixiviados de rellenos sanitarios, utilizando como indicadores biológicos bacterias totales, coliformes totales y fecales y *Streptococcus faecalis*.

5.2 Objetivos particulares

5.2.1 Seleccionar y montar en el laboratorio la metodología de análisis para la determinación de bacterias del grupo coliforme, *Streptococcus faecalis* y bacterias totales en lixiviados de rellenos sanitarios.

5.2.2 Caracterizar microbiológicamente los lixiviados procedentes del sitio de disposición final Bordo Poniente, tomando como parámetros de control el análisis de bacterias totales, coliformes totales y fecales y *Streptococcus faecalis*.

5.2.3 Simular el tren de tratamiento de la planta de lixiviados Bordo Poniente a escala laboratorio mediante pruebas de jarras, considerando las etapas de acondicionamiento y coagulación floculación bajo condiciones de operación originales y las modificaciones realizadas al tren.

5.2.4 Evaluar la eficiencia del tratamiento fisicoquímico (acondicionamiento y coagulación – floculación) para la eliminación de microorganismos patógenos presentes, mediante el control de los indicadores biológicos antes mencionados en las diferente etapas de tratamiento.

6 HIPOTESIS

La determinación cuantitativa de bacterias totales, coliformes totales y fecales y *Streptococcus faecalis* como indicadores biológicos, permitirá determinar la eficiencia del tratamiento fisicoquímico de lixiviados en el control de microorganismos patógenos.

7 METODOLOGIA

7.1 MATERIAL

7.1.1 MATERIAL ESTERIL

- Frascos de plástico
- Pipetas graduadas de 1 mL
- Tubos de ensaye con tapón de rosca
- Cajas petri
- Solucion TTC 1%

7.1.2 MEDIOS DE CULTIVO

- Caldo lactosado y rojo de fenol (Bioxón™)
- Agar cuentagérmenes estándar (Merck™)
- Agar KI (Millipore™)
- Medio líquido A-1⁽⁶⁾
- Peptona de caseína (Bioxón™)

7.1.3 MATERIAL NO ESTERIL

- Pipetas graduadas de 10 mL
- Matraz Erlenmeyer de 1 L
- Vasos de precipitado de 100, 250, 500 y 1000 mL
- Probeta graduada de 1000 mL
- Mechero Fisher
- Guantes de látex
- Gradillas
- Perillas de seguridad
- Termómetro de mercurio

7.1.4 EQUIPO

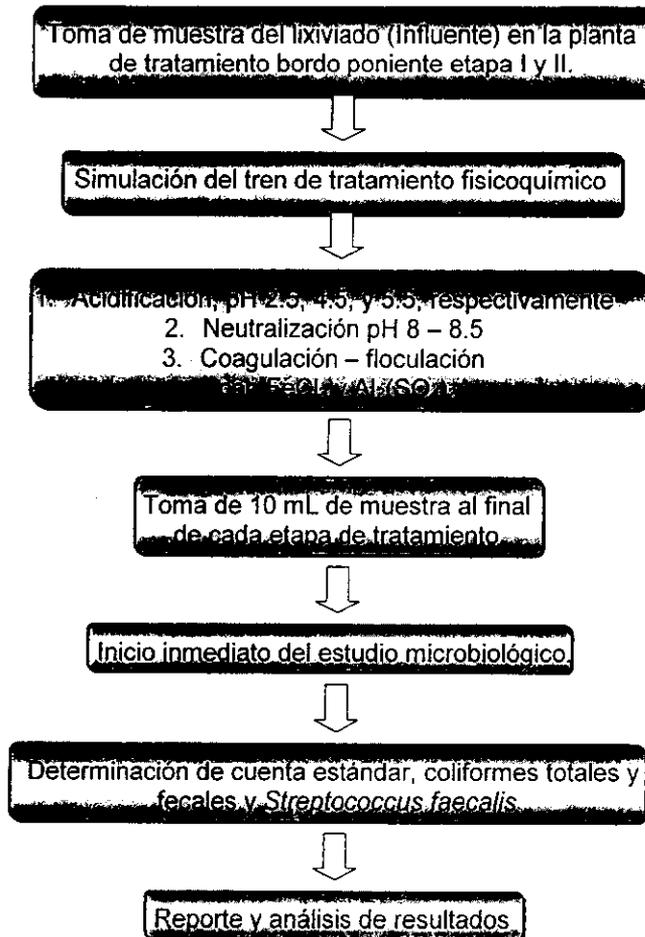
- Campana de flujo laminar (VECO)
- Placas de agitación y calentamiento (LAB-LINE)
- Agitador electromagnético (THERMODYNE)
- Vórtex (THERMODYNE)
- Balanza analítica (OHAUS)
- Autoclave (SAGÍnoMIYA)
- Incubadora (VWR)
- Refrigerador (IEM de luxe)
- Baño de agua (COLE PALMER)
- Contador de colonias (QUEBEC)
- Potenciómetro (COLE PALMER)

7.1.5 REACTIVOS

- Fenol al 5 %
- Solución de Etilen DiaminTetra Acetato (EDTA)
- Solución agua peptonada alcalina estéril al 5%
- Solución de Tiocianato de sodio
- Hidróxido de sodio al 32%
- Acido sulfúrico
- Cloruro férrico al 40 %
- Sulfato de aluminio al 30 %

7.2 MÉTODOS

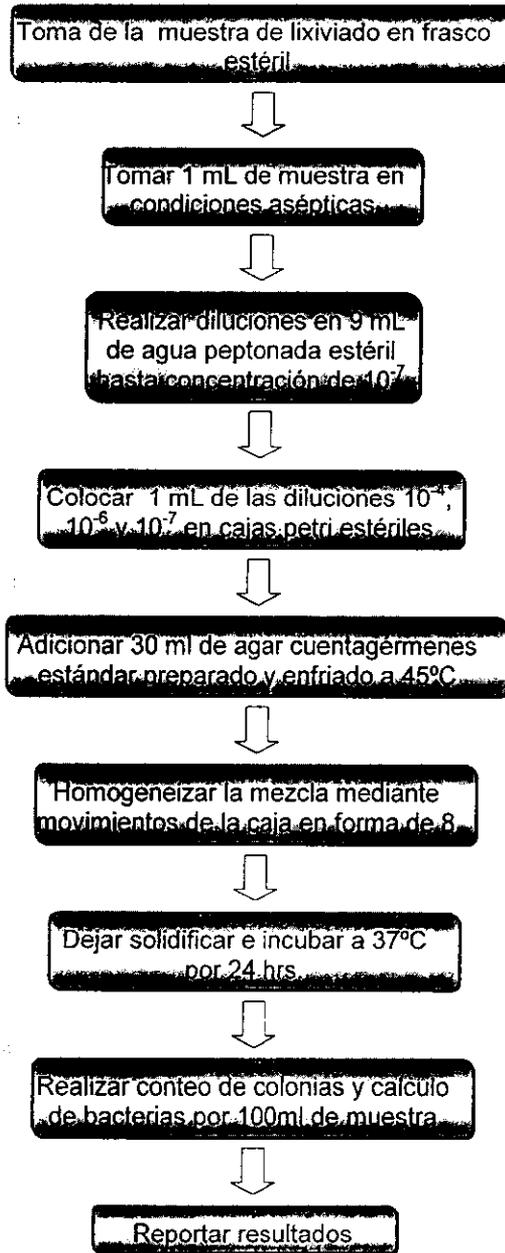
7.2.1 Esquema general del procedimiento para el análisis de indicadores.



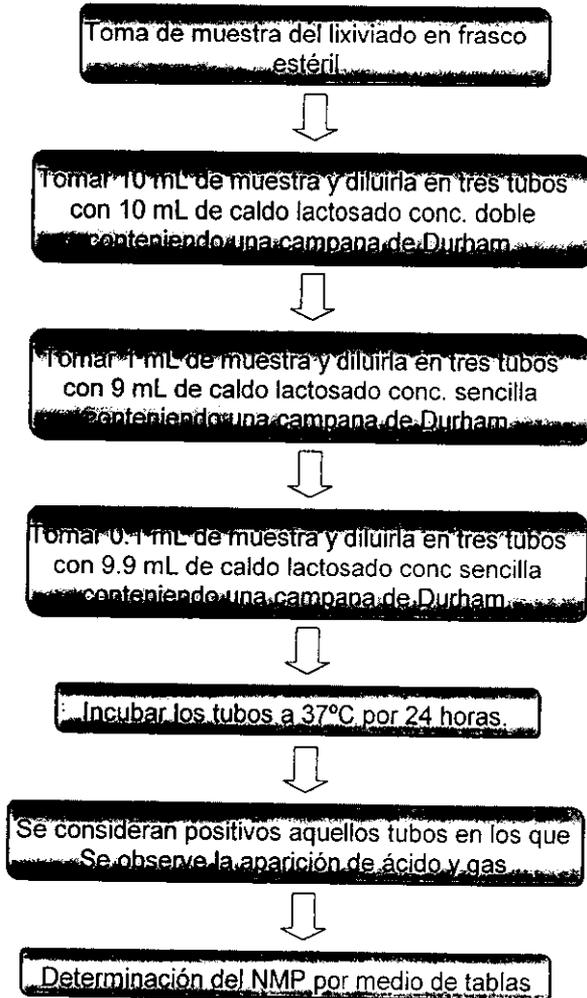
7.2.2. Procedimiento de toma de muestras

1. Se toma la muestra correspondiente en botellas cuidadosamente lavadas, enjuagadas y esterilizadas conteniendo una solución de tiosulfato de sodio y Etilendiamintetracetato (EDTA) suficiente para alcanzar una concentración de 100 mg/L y 372 mg/L de muestra respectivamente
2. Se agita la muestra para homogenizarla con las soluciones contenidas
3. Se rotula la muestra con los datos de identificación correspondientes (fecha, lugar de toma, temperatura, etapa de tratamiento, etc.)

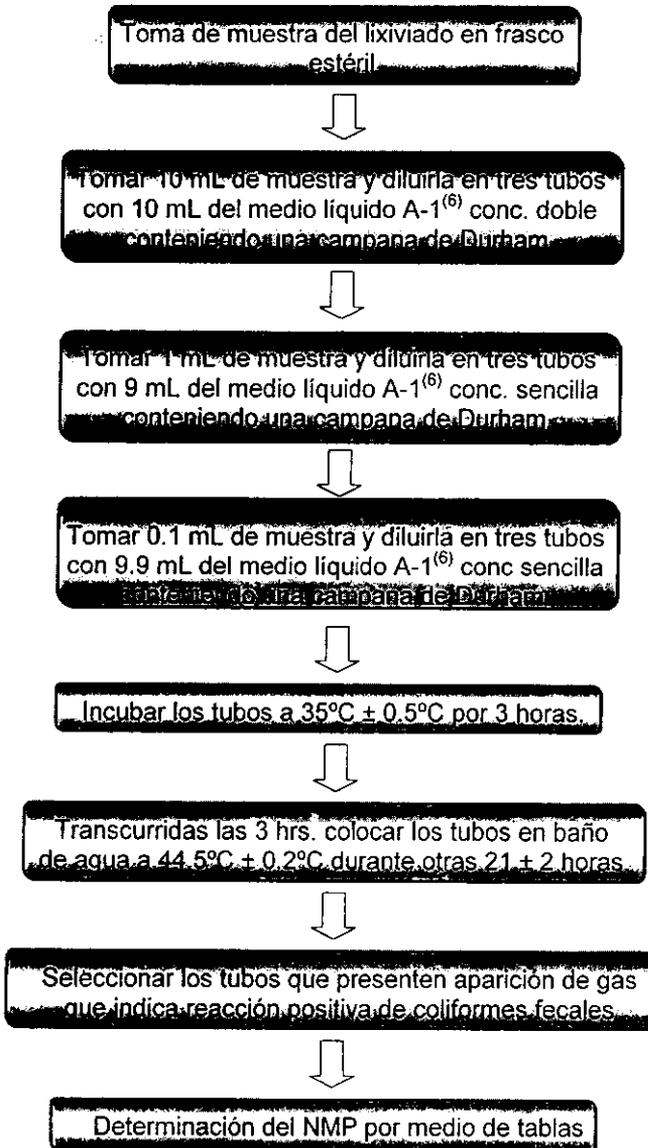
7.2.3 Esquema general de determinación de cuenta total en lixiviados por la técnica de cuenta en placa.



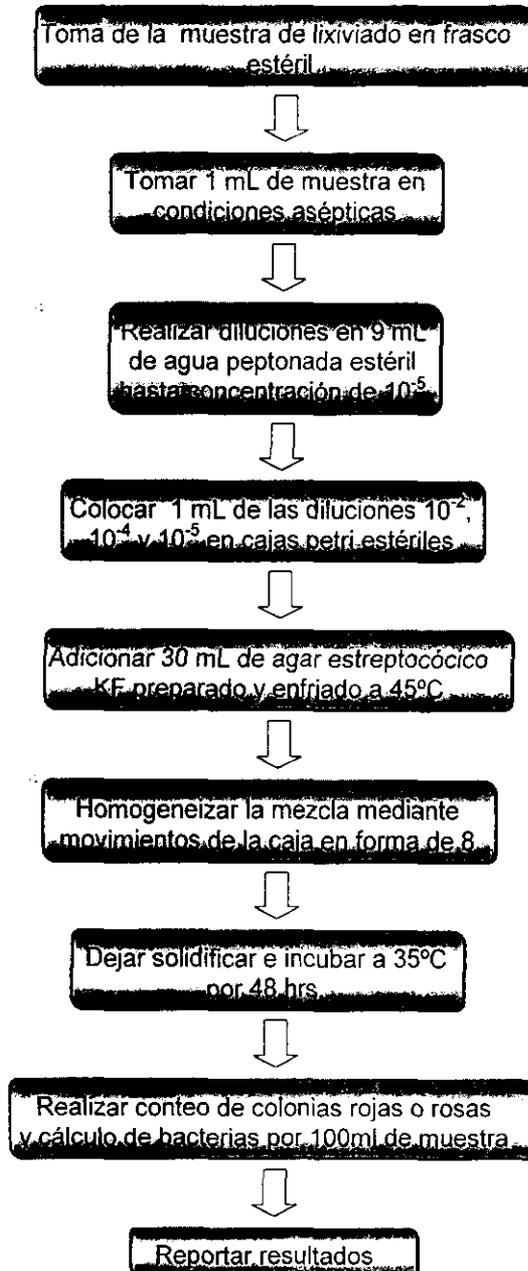
7.2.4 Esquema general de determinación de bacterias coliformes totales en lixiviados por medio de la técnica de fermentación en tubos múltiples.



7.2.5. Esquema general para la determinación de coliformes fecales por la técnica de fermentación en tubos múltiples



7.2.6 Esquema general de determinación de bacterias *Streptococcus faecalis* en lixiviados por medio de la técnica de cuenta en placa.



8 RESULTADOS.

Los procedimientos de toma, preservación y procesamiento de muestras fueron adaptados de diversa bibliografía^(4, 6, 10, 11, 14, 16) debido a que en la actualidad no se cuenta con metodologías específicas, particularmente para la determinación de microorganismos indicadores en lixiviados de rellenos sanitarios.

8.1. Procedimiento de toma y preservación de muestras.

El relleno sanitario de Bordo Poniente cuenta con registros de captación de lixiviados ubicados alrededor de las etapas que lo conforman. Además cuenta también con un cárcamo de almacenamiento en la planta a partir del cual se alimenta el lixiviado a los trenes de tratamiento.

Las muestras para el estudio fueron tomadas principalmente en el cárcamo de almacenamiento así como en el registro de captación más cercano a la planta en las etapas I y II del relleno, utilizando para ello una cubeta la cual fue sumergida a una profundidad de aproximadamente 1 metro.

El lixiviado fue colectado en garrafones de 20 L conteniendo soluciones de tiosulfato de sodio y etilendiamin tetraacetato (EDTA) suficiente para alcanzar la concentración de 100 mg/L y 372 mg/L de muestra respectivamente, los cuales fueron previamente lavados con dextran (Merck™), fenol al 5 % y enjuagados con agua destilada.

Finalmente se agitó para homogeneizar la mezcla y se procedió a rotular el envase y a trasladarlo a los laboratorios del Instituto de Ingeniería - UNAM para su análisis y procesamiento.

8.2. Simulación del tren de tratamiento.

Una vez en el laboratorio se procedió a caracterizar el lixiviado microbiológicamente y a someterlo a las diferentes pruebas de tratabilidad, todo esto a escala laboratorio utilizando un equipo de prueba de jarras que consiste en un equipo de seis agitadores con control de velocidad, en el cual se simulaban las etapas de acondicionamiento y coagulación - floculación con sales metálicas.

Se utilizaron vasos de precipitado de 1 L de capacidad para cada uno de los experimentos, controlando siempre el pH, el tiempo de retención hidráulico (TRH) así como la dosis de reactivos requeridos en cada etapa.

Las alternativas al tren de tratamiento propuestas por Orta y colaboradores (1997), fueron evaluados en este trabajo con la finalidad de determinar si existe un cambio en la calidad microbiológica del lixiviado tratado. En la figura 4 (p. 32) se describen los diferentes experimentos realizados en este estudio.

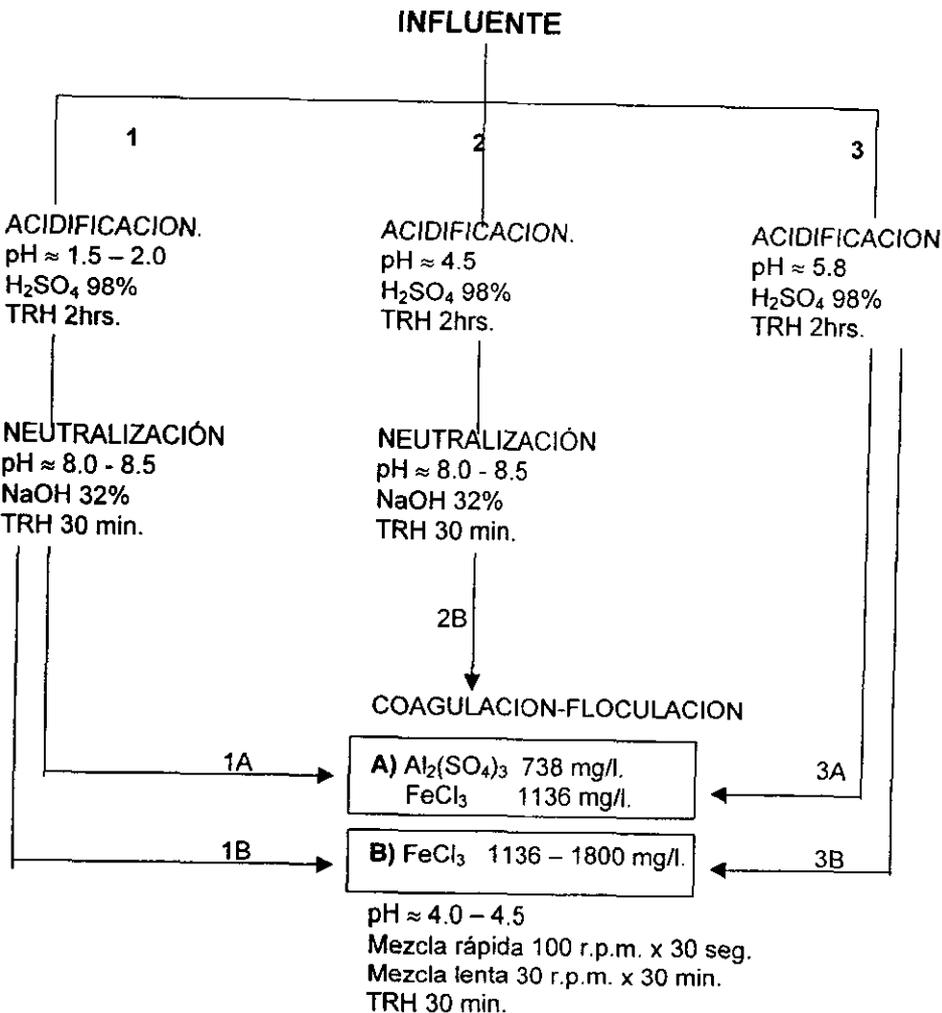


Fig.4. Experimentos propuestos al tren de tratamiento.

1A). Condiciones originales de operación de la planta de tratamiento

1B, 2B, 3A y 3B). Alternativas propuestas para el tratamiento (Orta y colaboradores 1997)

-Etapas evaluadas del tren de tratamiento:

Acidificación: Esto se llevó a cabo determinando inicialmente el pH del influente y adicionando lentamente ácido sulfúrico al 98% agitando constantemente hasta alcanzar el pH deseado para cada tratamiento, controlando siempre la producción de espuma la cual es abundante.

Neutralización: En el caso de esta etapa las modificaciones están en función de la acidificación y en la cual se disminuyó el consumo de sosa debido al pH no tan extremo de los tratamientos sugeridos respecto al control. En el caso del tratamiento 3 se eliminó incluso esta etapa con el fin de suprimir el consumo de sosa. Al finalizar la etapa de acidificación se medía el pH y se adicionaba la sosa al 32 % requerida hasta alcanzar el pH deseado.

Coagulación – floculación: El objetivo de este experimento fue conocer los efectos en el efluente generado cuando se modifica la concentración de los coagulantes FeCl_3 y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Durante el tratamiento el pH fue controlado cuidadosamente en un intervalo de 4.0 – 4.5 (intervalo óptimo para el funcionamiento de los coagulantes).

Una vez transcurrido el TRH (tiempo de retención hidráulico) requerido para cada etapa, se tomó la muestra correspondiente para el análisis con el fin de evaluar el efecto de los cambios en cada etapa de tratamiento sobre la calidad microbiológica del lixiviado.

Análisis microbiológico: Basándose en las técnicas reportadas en la bibliografía^(4, 6, 10, 11, 14, 16) se procedió a realizar pruebas con el fin de determinar las condiciones de análisis a emplear, quedando de la siguiente manera:

Técnica de cuenta en placa: Se decidió utilizar diluciones de agua peptonada estéril al 5 % en un intervalo de 10^{-1} – 10^{-6} variando las mismas según las cuentas esperadas para cada etapa.

Cuenta total

La siembra en placa se realizó con agar cuentagérmenes estándar (Merck™) e incubando a $37^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ durante 24 hr.

Streptococcus faecalis

La siembra en placa se realizó con agar estreptocócico KF (Millipore™) e incubando a $35^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ durante 48 hr.

Técnica de fermentación en tubos múltiples: Las condiciones empleadas fueron las reportadas en el esquema general correspondiente (pp. 28 y 29) tomando en consideración lo siguiente:

Coliformes totales: Se utilizó el caldo lactosado y rojo de fenol (Bioxón™) realizando una dilución de 10^{-3} para el análisis del influente y sin dilución para las etapas subsecuentes. Las series de tubos se incubaron a $37^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ durante 24 hrs considerándose como positivos aquellos tubos que presentaron producción de ácido detectado por el vire del indicador de rojo a amarillo, y gas detectado mediante la campana de Durham.

Coliformes fecales: Se utilizó el medio líquido A-1⁽⁶⁾ tanto para el influente como para las muestras de las etapas probadas. Las series de tubos se incubaron a 44.5°C ± 0.5°C durante 21 ± 2 hr considerándose como positivos los tubos que presentaban aparición de gas.

8.3. Caracterización microbiológica del lixiviado.

En la siguiente tabla y gráficas correspondientes (Gráficas 1-4) se muestra las cuentas de microorganismos encontrados en el lixiviado crudo para las diferentes fechas de muestreo.

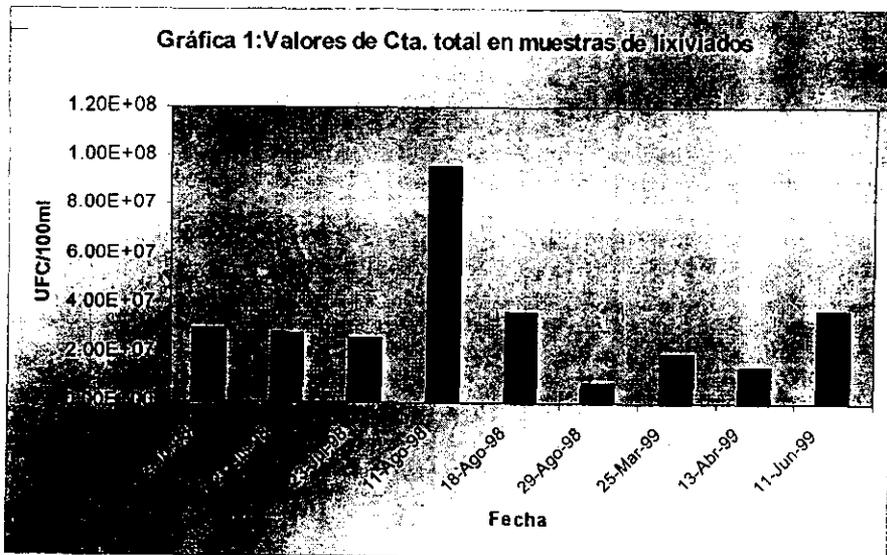
Tabla 6: Cuentas de indicadores detectadas en el influente.

Fecha	Cta. Total UFC/100ml	Colif. Tot. NMP/100ml	Colif. Fec. NMP/100ml	S. faecalis UFC/100ml
2-Jul-98	3.0E+07	3.6E+06	ND	***
21-Jul-98	2.7E+07	2.4E+06	4.0E+04	***
23-Jul-98	2.6E+07	2.1E+06	ND	***
11-Ago-98	9.6E+07	2.4E+07	4.0E+03	***
18-Ago-98	3.6E+08	2.8E+07	2.5E+04	***
29-Ago-98	8.3E+06	1.2E+06	ND	***
25-Mar-99	2.0E+07	6.4E+06	ND	2.5E+04
13-Abr-99	1.4E+08	2.4E+03	1.2E+02	1.9E+05
11-Jun-99	3.7E+08	2.4E+06	ND	5.3E+05

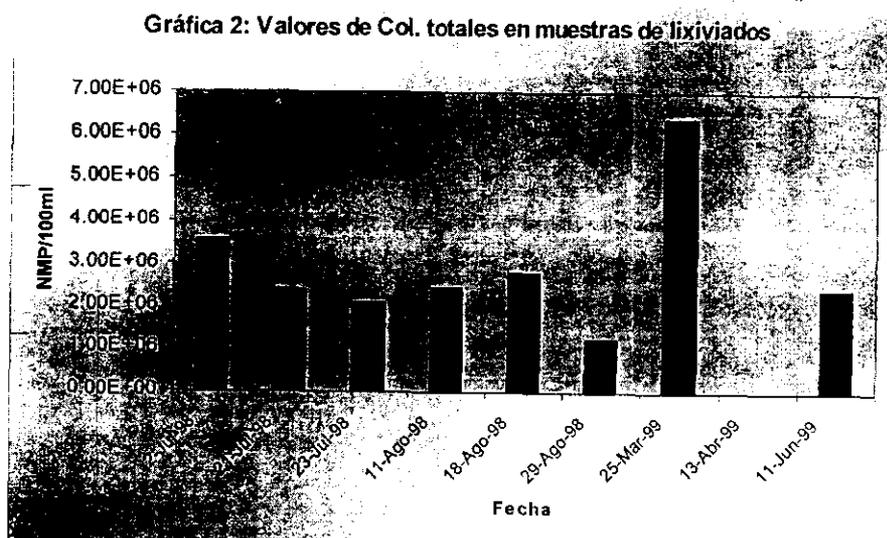
(ND) No Detectado

(***) No determinado

Caracterización microbiológica del lixiviado crudo por indicador

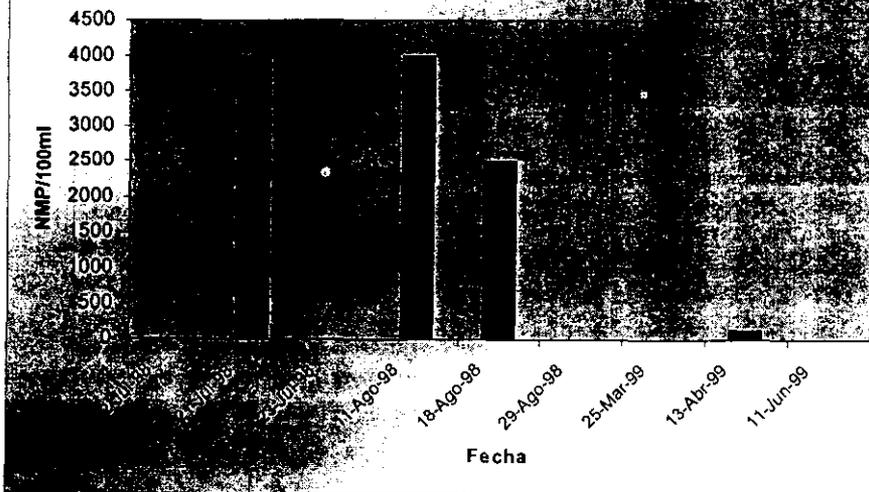


Nota: Las fechas 18-Agosto-98, 13-Abril-99 y 11-Junio-99 corresponden al orden de 1E+08



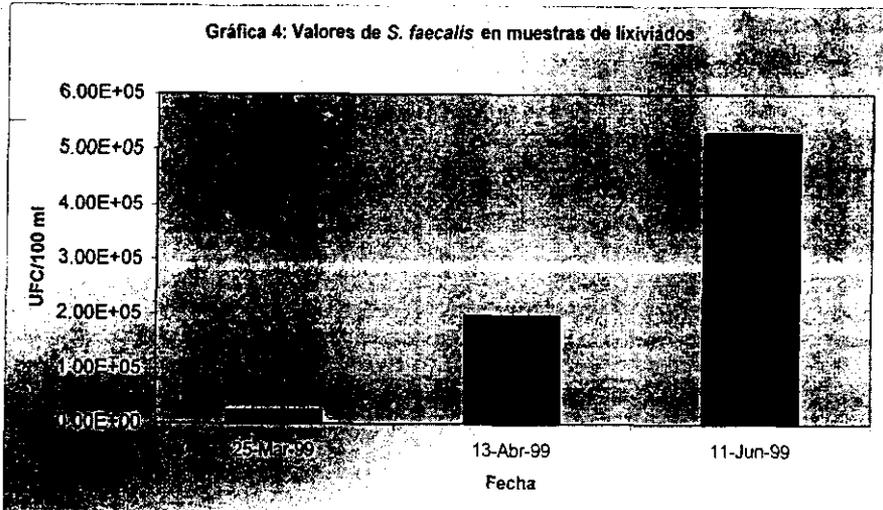
Nota: Las fechas de 11-Agosto-98 y 18-Agosto-98 corresponden al orden de 1E+07

Gráfica 3: Valores de Col. fecales en muestras de lixiviados



Nota: Las fechas 21-Julio-98 y 18-Agosto-98 corresponden al orden de 1E+04

Gráfica 4: Valores de *S. faecalis* en muestras de lixiviados



8.4. Evaluación del tren de tratamiento

De acuerdo con el esquema de las alternativas propuestas al tren de tratamiento (Fig. 4 p. 32), se realizó el análisis de los microorganismos indicadores en dichos tratamientos obteniéndose los resultados que se muestran en las tablas 7, 8, 9, 10 y 11 (pp. 39 – 43) correspondientes a los tratamientos utilizados:

Con tales datos se aplicó un análisis de varianza (Andeva)⁽²⁰⁾ para un diseño completamente aleatorio para los datos correspondientes al efluente del tratamiento control (1A p. 32), comparado contra los datos de los efluentes de los tratamientos evaluados en el parámetro sedimentación y cuenta estándar.

De tal manera la comparación entre los tratamientos queda de la siguiente manera:

Fecha/Tratamiento	1A	1B	2B	3A	3B
2-Julio-98	0	---	---	0	---
21-Julio-98	0	---	---	0	---
23-Julio-98	0	---	---	0	---
23-Julio-98*	0	---	---	0	---
11-Agosto-98	54000	64000	---	3200	34000
18-Agosto-98	0	3600	---	0	0
29-Agosto-98	0	3100	---	0	3800
29-Agosto-98*	0	2700	---	0	3100
25-Marzo-99	3000	---	0	---	---
13-Abril-99	11400	---	12800	---	---
13-Abril99*	9800	---	10800	---	---
11-Junio-99	---	0	0	---	---

(---) No determinado

(*) Repeticiones

De ésta manera se comparan los datos de la columna 1A (control) contra los de cada uno de los tratamientos alternos (1B, 2B, 3A y 3B), para todos los casos, el criterio de aceptación es si la F calculada es menor o igual a la F de tablas (es decir se acepta la hipótesis nula (H₀)), mientras que el criterio de rechazo de ésta es si F calculada es mayor a la F de tablas (Se acepta hipótesis alterna (H_a)).

Donde:

H₀: No hay diferencia significativa entre tratamientos

H_a: Si hay diferencia significativa entre tratamientos

Los resultados de el cálculo de la F calculada y la F de tablas para cada comparación queda de la siguiente manera:

1A vs 1B (F de tablas a $\alpha=1= 0.95$, 1, x= 14)
 $F_{calc} 3.5629 < F_{tablas} 4.60$

1A vs 2B (F de tablas a $\alpha=1= 0.95$, 1, x= 13)
 $F_{calc} 0.2459 < F_{tablas} 4.67$

1A vs 3A (F de tablas a $\alpha=1= 0.95$, 1, x= 17)
 $F_{calc} 1.4337 < F_{tablas} 4.45$

1A vs 3B (F de tablas a $\alpha=1= 0.95$, 1, x= 14)
 $F_{calc} 2.52 < F_{tablas} 4.60$

En todos los casos se acepta la hipótesis nula (H_0) es decir que no hay diferencia significativa entre los tratamientos. Esto es, el análisis estadístico demuestra que es posible obtener la misma calidad microbiológica en el efluente final independientemente del tipo de tratamiento utilizado.

Tabla 7: Cuentas de indicadores detectadas para el tratamiento 1A.

Trat. 1A	INFUENTE				ACIDIFICACION			
	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis
2-Jul-98	3.00E+07	3.60E+06	ND	*****	6.90E+04	6	ND	*****
21-Jul-98	2.78E+07	2.40E+06	4.00E+04	*****	5.10E+04	0	0	*****
23-Jul-98	2.64E+07	2.70E+06	ND	*****	5.30E+04	0	ND	*****
23-Jul-98	2.40E+07	2.30E+06	ND	*****	4.90E+04	0	ND	*****
11-Ago-98	9.60E+07	2.46E+07	4000	*****	1.02E+06	0	0	*****
18-Ago-98	3.56E+08	2.30E+07	2.50E+04	*****	1.40E+06	0	0	*****
29-Ago-98	8.35E+06	1.26E+06	ND	*****	3.20E+04	0	ND	*****
29-Ago-98	8.73E+06	1.49E+06	ND	*****	4.00E+04	0	ND	*****
25-Mar-99	2.00E+07	6.40E+06	ND	2.52E+04	1.10E+05	78000	ND	5900
13-Abr-99	1.47E+08	2.40E+03	120	1.98E+05	8.20E+05	240	0	20800
13/04/1999*	2.67E+08	2.40E+03	28	2.32E+05	1.02E+06	210	0	19400
Promedio	9.28E+07	6.56E+06	1.38E+04	1.52E+05	3.09E+05	7.13E+03	0	1.54E+04

NEUTRALIZACION				SEDIMENTACION			
Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis
46000	0	ND	*****	0	0	ND	*****
28000	0	0	*****	0	0	0	*****
30000	0	ND	*****	0	0	ND	*****
28000	0	ND	*****	0	0	ND	*****
770000	0	0	*****	54000	0	0	*****
90000	0	0	*****	0	0	0	*****
20000	0	ND	*****	0	0	ND	*****
31200	0	ND	*****	0	0	ND	*****
18000	0	ND	ND	3000	0	ND	0
286000	4	0	8400	11400	0	0	0
204000	3	0	9700	9800	0	0	0
1.41E+05	0.636	0	9.05E+03	7.11E+03	0	0	0

Tabla 8: Cuentas de indicadores detectadas para el tratamiento 1B.

Trat. (B)	INFLUENTE				ACIDIFICACION			
	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis
11-Ago-98	9.60E+07	2.46E+07	4.00E+03	*****	1.02E+06	0	0	*****
18-Ago-98	3.66E+08	2.80E+07	2.50E+04	*****	1.40E+05	0	0	*****
29-Ago-98	8.35E+06	1.26E+06	ND	*****	3.20E+04	0	ND	*****
29-Ago-98	8.73E+06	1.49E+06	ND	*****	4.00E+04	0	ND	*****
11-Jun-99	3.70E+08	2.40E+06	ND	5.30E+05	5.00E+04	*****	ND	19000
Promedio	1.70E+08	1.16E+07	1.45E+04	5.30E+05	2.56E+05	0	0	19000

Cta. Total	NEUTRALIZACION			Cta. Total	SEDIMENTACION		
	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis		Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis
770000	0	0	*****	64000	0	0	*****
110000	0	0	*****	3600	0	0	*****
17200	0	ND	*****	3100	0	ND	*****
27100	0	ND	*****	2700	0	ND	*****
71000	*****	ND	12000	0	460	ND	0
1.99E+05	0	0	12000	1.47E+04	92	0	0

Tabla 9: Cuentas de indicadores detectadas para el tratamiento 2B.

Trat:2B	INFLUENTE				ACIDIFICACION			
	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis
25-Mar-99	2.00E+07	6.40E+06	ND	2.52E+04	1.28E+05	102000	ND	6800
13-Abr-99	1.47E+08	2.40E+03	120	1.98E+05	1.08E+06	1100	7	22000
13/04/1999	2.67E+08	2.40E+03	28	2.32E+05	1.24E+06	460	0	21700
11-Jun-99	3.70E+08	2.40E+06	ND	5.30E+05	5.90E+04	****	ND	17000
Promedio	2.01E+08	2.20E+06	74	2.46E+05	6.27E+05	3.45E+04	3.5	16875

Cta. Total	NEUTRALIZACION			Cta. Total	SEDIMENTACION		
	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis		Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis
19200	0	ND	0	0	0	ND	0
298000	7	0	1.27E+04	12800	0	0	0
229000	3	0	1.31E+04	10800	0	0	0
131000	****	ND	2.10E+04	0	460	ND	0
1.69E+05	3.33	0	1.17E+04	5.90E+03	115	0	0

Tabla 10: Cuentas de indicadores detectadas para el tratamiento 3A.

Trat. 3A	INFLUENTE			ACIDIFICACION			SEDIMENTACION		
	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.
2-Jul-98	3.00E+07	3.60E+06	ND	2.90E+06	2800	ND	0	0	ND
21-Jul-98	2.78E+07	2.40E+06	4.00E+04	2.10E+06	0	0	0	0	0
23-Jul-98	2.64E+07	2.10E+06	ND	1.90E+06	0	ND	0	0	ND
23-JUL-98*	2.40E+07	2.30E+06	ND	1.60E+06	0	ND	0	0	ND
11-Ago-98	9.60E+07	2.46E+07	4000	5.92E+06	7.60E+05	0	3200	0	0
18-Ago-98	3.66E+08	2.80E+07	2.50E+04	5.00E+06	1.20E+04	0	0	0	0
29-Ago-98	8.35E+06	1.26E+06	ND	1.28E+05	0	ND	0	0	ND
29-Ago-98*	8.73E+06	1.49E+06	ND	1.40E+05	0	ND	0	0	ND
Promedio	7.34E+07	8.22E+06	2.30E+04	2.46E+06	9.69E+04	0	400	0	0

Tabla 11: Cuentas de indicadores detectadas para el tratamiento 3B.

Trat. 3B	INFLUENTE				ACIDIFICACION			
	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis	Cta. Total	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis
17-Ago-98	9.60E+07	2.46E+07	4.00E+06	*****	5.92E+06	7.60E+05	0	*****
18-Ago-98	3.66E+08	2.80E+07	2.50E+04	*****	5.00E+06	1.20E+03	0	*****
29-Ago-98	8.35E+06	1.26E+06	ND	*****	1.28E+05	0.00E+00	ND	*****
29-Ago-98	8.73E+06	1.49E+06	ND	*****	1.40E+05	0.00E+00	ND	*****
11-Jun-99	3.70E+08	2.40E+06	ND	5.30E+05	2.00E+06	*****	ND	2.49E+05
Promedio	1.70E+08	1.16E+07	1.45E+04	5.30E+05	2.64E+06	1.93E+05	0.00E+00	2.49E+05

Cta. Total	SEDIMENTACION		
	Col. Tot.	Col. fec.	S. faecalis
34000	0	0	*****
0	0	0	*****
3800	0	ND	*****
3100	0	ND	*****
0	460	ND	0
1.36E+04	92	0	0

Perfiles de eliminación de indicadores por tratamiento

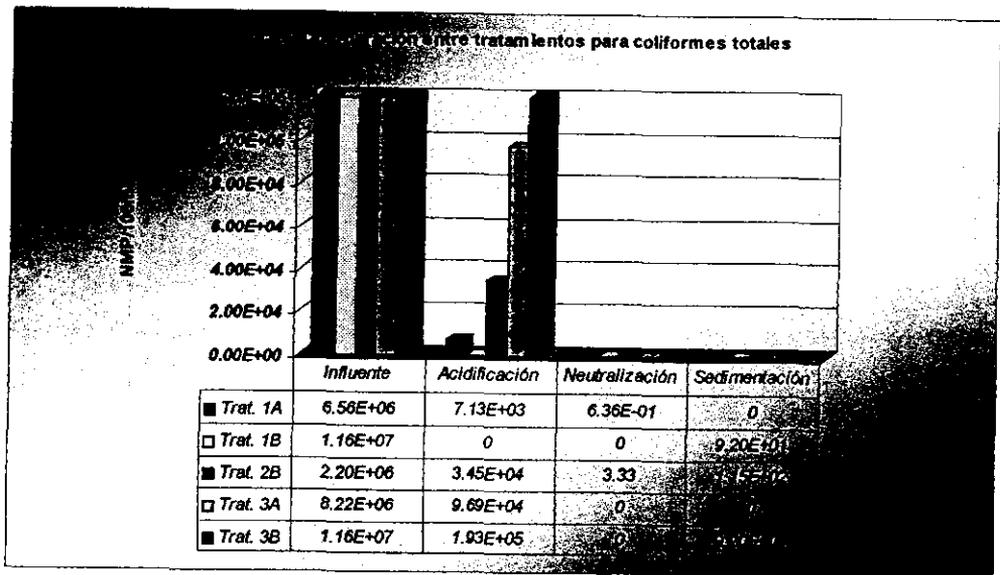
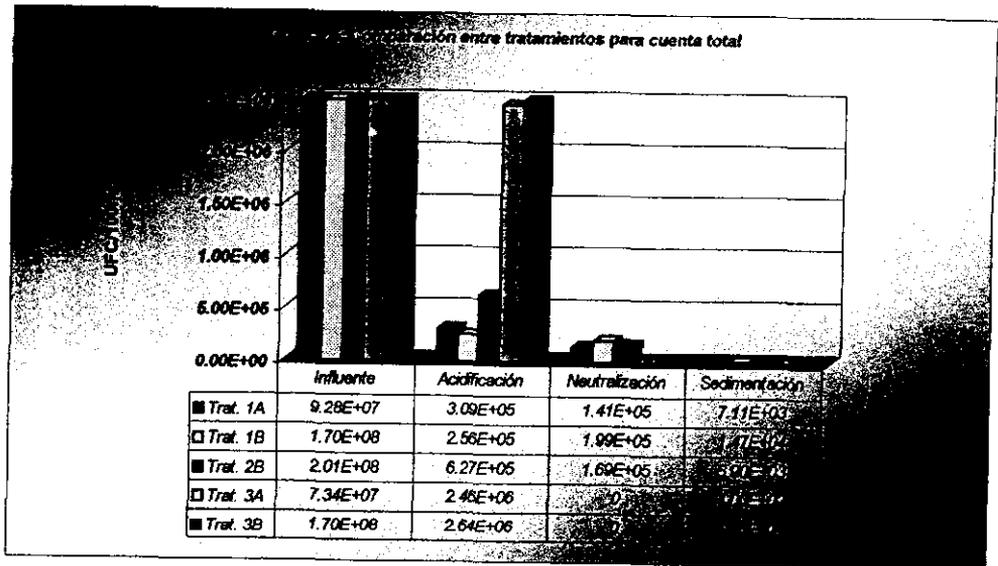


Figura 1. Comparación entre tratamientos para coliformes fecales

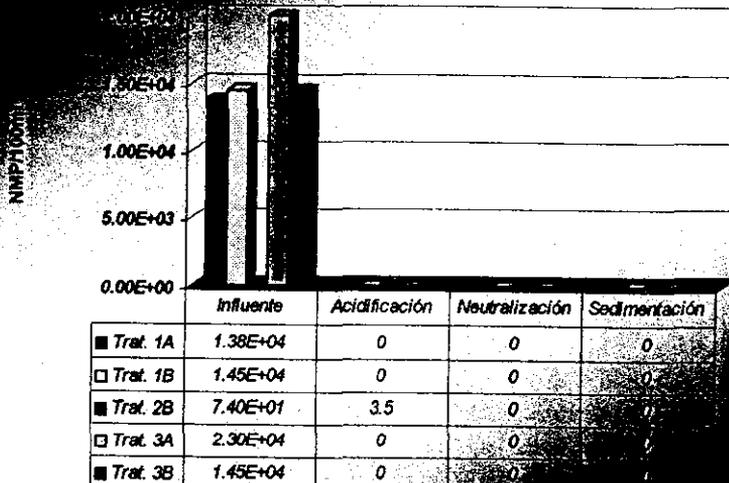
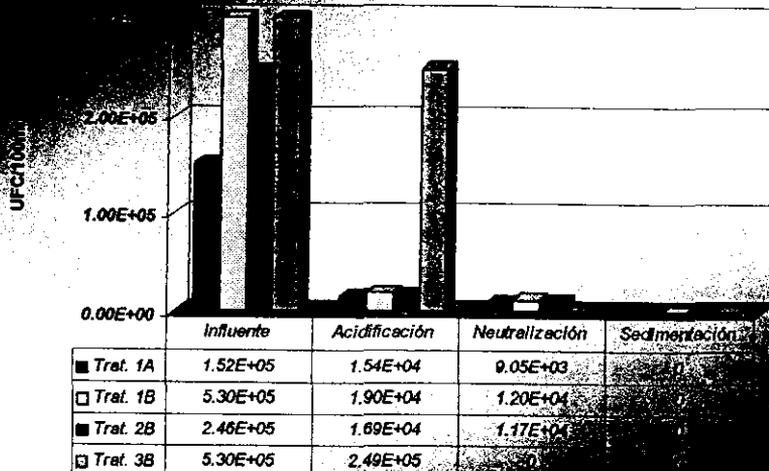


Figura 2. Comparación entre tratamientos para *S. faecalis*



8.5. Caracterización fisicoquímica del influente y efluente.

Muestreo: 11-Agosto-1998

Muestra	pH	Color (U Pt-Co color)	Turbiedad (UNT)	DQO total (mg/lt)
Influente	8.24	6480	70	2160
1A	4.46	170 (97.3%)	1.6 (97.7%)	860 (60.2%)
1B	4.50	320 (95%)	1.2 (98%)	890 (59%)
3A	4.41	200 (97%)	2.1 (97%)	820 (62%)
3B	4.69	390 (94%)	2.0 (97%)	980 (55%)

Muestreo: 11-Junio-1999

Muestra	pH	Conductividad (ms/cm)	SDT (g/l)	Turbiedad (UNT)	Color (U Pt-Co color)	DQO total (mg/lt)
Influente	8.6	4.52	2.26	83.80	7900	4845
1B	4.11	6.68	3.36	5.57 (93%)	419 (94.6%)	2085 (57%)
2B	4.28	6.58	3.29	8.40 (89%)	442 (94.4%)	2190 (54.8%)
3B	4.49	6.44	3.22	5.80 (93%)	433 (94.5%)	2335 (51.8%)

SDT.- Sólidos Disueltos Totales

DQO.- Demanda Química de Oxígeno

(%)- % de remoción

Los porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos del tratamiento control (1A) son los siguientes:

DQO= 40-60 %

Turbiedad = 70-80 %

Color = 90-98 %

9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En México el manejo y tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios es un tema muy reciente que data de los años 80's a la fecha, por tanto, la experiencia en el análisis fisicoquímico y microbiológicos es también limitada. Debido a esto, es necesario recurrir a procedimientos ya establecidos para toma, preservación y análisis de corrientes líquidas similares a los lixiviados de rellenos sanitarios (ejemplo: aguas residuales, industriales, etc.). La metodología utilizada en este estudio fue tomada principalmente del Standard Methods⁽⁶⁾.

En este trabajo el objetivo principal fue determinar la eficiencia de un tratamiento fisicoquímico en el control de microorganismos patógenos, presentes en lixiviados de rellenos sanitarios.

Para ello, se tomaron como base los estudios realizados por Orta y colaboradores (1997)⁽¹⁹⁾ encaminados a optimizar dicho tratamiento y reducir los costos del proceso manteniendo la calidad del efluente generado, incluyendo la bacteriológica. Este último aspecto dio como resultado el presente proyecto de investigación.

Para alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo fue necesario simular las condiciones de operación usuales de la planta de tratamiento así como las modificaciones propuestas a escala laboratorio, para poder así comparar la eficiencia de remoción de microorganismos patógenos mediante el análisis de indicadores bacteriológicos.

Como se mencionó anteriormente, la toma de muestra se realizó principalmente en el cárcamo de almacenamiento de la planta de tratamiento así como en el registro de captación más cercano a esta última, considerando que estos puntos eran los más representativos para el estudio.

Las bacterias indicadoras como los coliformes y los estreptococos fecales pueden resultar alteradas o lesionadas en este tipo de corrientes como resultado de la presencia de iones metálicos u otras sustancias tóxicas, temperatura y pH extremos, la radiación solar, etc. Lo cual puede provocar infravaloraciones importantes de las bacterias indicadoras viables a causa de la alteración que sufren a nivel estructural o de metabolismo. Por ésto es importante propiciar la recuperación de los indicadores mediante diversas estrategias entre las cuales se incluye el uso de las soluciones de tiosulfato de sodio y EDTA, además del agua peptonada alcalina para las diluciones en el caso de la técnica de cuenta en placa.

Como se puede apreciar en la figura 2 (p. 9) las etapas empleadas en el tratamiento total del lixiviado incluye además una oxidación con peróxido de hidrógeno, neutralización (NaOH 32%) y sedimentación secundarias así como una filtración final para obtener el efluente, sin embargo estas cuatro operaciones no fueron evaluadas como parte de éste estudio.

En la simulación de las diferentes alternativas de tratamiento (fig. 4 p. 32) se empleó un equipo de prueba de jarras. Durante esta simulación los parámetros a controlar fueron el pH y el tiempo de retención hidráulico, tiempo en el cual permanece la muestra bajo ciertas condiciones y la dosis y el tipo de coagulante metálico.

En el caso de las condiciones de operación originales de la planta, se requiere de un consumo importante de reactivos (H_2SO_4 98 % 5-7ml/L de lixiviado, NaOH 32 % 4-5 ml/L de lixiviado) para lograr cambios de pH requeridos además que esto implica un incremento del contenido de sólidos disueltos en el efluente final.

Las alternativas propuestas al tratamiento original consideraron modificaciones en el pH de acondicionamiento para reducir el consumo de ácido sulfúrico (tratamientos 2 y 3 p. 32) así como el de NaOH al 32 %.

Para el caso del tratamiento 3 la etapa de neutralización se eliminó por considerarse que podría ser suprimida sin afectar significativamente la calidad fisicoquímica del efluente final. Con esta modificación se ahorraría el costo de la sosa empleada en la primera etapa de neutralización.

De manera similar la variación del número y dosis de coagulantes utilizados trae la ventaja del ahorro del costo del $Al_2(SO_4)_3$ el cual se suprime en el tratamiento B (p. 32). Es importante señalar que un control importante es el pH de coagulación (4.0-4.5) el cual es fundamental para la desestabilización de la materia orgánica suspendida y coloidal la cual se puede encontrar asociada en cierto grado las bacterias.

La experiencia ha demostrado que el grupo coliforme es un indicador del grado de contaminación y por tanto de la calidad sanitaria. Tanto el significado de las pruebas como su interpretación están bien precisados y se han utilizado como patrones de comparación de la calidad bacteriológica en los suministros de agua⁽⁶⁾. Por lo que es considerado como uno de los procedimientos bacteriológicos de rutina⁽⁴⁾.

De la misma manera es que se determinó la cuenta en placa la cual proporciona un recuento aproximado del número total de cuentas de bacterias viables, lo que da valiosa información sobre la calidad del agua y puede aportar datos que respalden el significado atribuido a los resultados de los análisis de coliformes. El recuento en placa es útil para valorar la eficacia de los distintos procesos del tratamiento.

Adicionalmente se determinó la presencia de *Streptococcus faecalis* como un indicador mas debido a que en análisis anteriores (DGESU 1997) se detectó la presencia de éste en el lixiviado; dicho microorganismo también es habitante normal de la flora intestinal humana y su presencia al igual que la del grupo coliforme es indicativa de posible contaminación fecal.

Las técnicas de cuantificación fueron establecidas de acuerdo a las ventajas y limitaciones inherentes de cada una de ellas. Para el caso del grupo coliforme, se empleo la técnica de

fermentación en tubos múltiples debido a que esta técnica permite trabajar con muestras con un alto contenido de material orgánico suspendido el cual puede interferir en las determinaciones por filtro de membrana o cuentas en placa.

La cuenta total se realizó por la técnica de cuenta en placa debido a que se trata de una técnica fácil de realizar y que no requiere mas que el equipo básico de microbiología, las cuentas reportadas fueron estrictamente aquellas en las que las cuentas se encontraban entre 30 y 300 colonias/placa, por lo que algunos datos reportados como no detectados (ND) son en realidad cuentas que no entraron dentro de estos límites. Se determinó realizar las diluciones en agua peptonada alcalina por los motivos de recuperación de bacterias antes expuestos.

Es importante señalar que las cuentas en placa reportadas se refieren a bacterias aerobias facultativas y mesófilas debido a la temperatura de incubación (37°C) a la que se sometieron las placas.

En el caso de *S. faecalis* se determinó emplear la técnica de cuenta en placa debido a las facilidades de manipulación de la misma y por considerarse que las diluciones empleadas y la cantidad de muestra evita la interferencia del material orgánico suspendido, ésto aunado a la ventaja de colonias características que se obtienen con el medio empleado. De manera similar los resultados reportados se refieren estrictamente a cuentas entre 30 y 300 colonias/placa.

Con respecto a la caracterización microbiológica del lixiviado, es posible observar una tendencia regular en los valores de los indicadores detectados (Tabla 6 p. 34), de manera general, puede observarse que a partir del 11-Agosto-98 estos valores se incrementan tanto para la cuenta total como para el grupo coliforme. Un efecto similar se observa para las determinaciones correspondientes al mes de abril y junio de 1999 en los cuales ya se incluye el valor de *S. faecalis*. Dicho fenómeno puede atribuirse al efecto de concentración que experimentan los lixiviados en la época de estiaje.

Es importante señalar que como una medida para asegurar el funcionamiento del tren de tratamiento, los muestreos se realizaron en épocas en las cuales las cuentas de bacterias fueron altas; por tal razón las cuentas reportadas corresponden a órdenes de cuentas totales de 10^7 y 10^8 en su mayoría con lo que se aseguraba también la aparición de un número mas alto de los valores para el grupo coliforme y *S. faecalis*. Este efecto también es notorio para los parámetros fisicoquímicos.

La detección de estos dos periodos es atribuida a la época de estiaje en la cual no hay precipitaciones pluviales por lo que el lixiviado tiende a concentrarse por efecto de la evaporación del agua y la falta de humedad aportada por las lluvias.

Las gráficas correspondientes a la caracterización (p. 35 y 36) fueron modificadas para facilitar la visualización del efecto del periodo en la aparición de los indicadores por tanto las modificaciones son marcadas al pie de la gráfica correspondiente.

Para la evaluación del tren de tratamiento, como ya se ha mencionado se propusieron los tratamientos alternos denominados 1B, 2B, 3A y 3B, los cuales fueron probados respecto al tratamiento original (1A). De esta manera las tablas mostradas (Tabla 7 – 11) permiten observar el efecto del tratamiento probado en la remoción de indicadores para cada fecha, indicador y etapa.

Los valores reportados son los detectados al final del TRH (tiempo de retención hidráulica) de la etapa señalada.

De acuerdo a esto, se observa que la acidificación es la etapa más importante en la remoción de los indicadores, que va desde casi el 95 % para los tratamientos 3 hasta más del 99% de los tratamientos 1 (tablas 7-11 pp. 39-43) en cuanto a la cuenta total se refiere. Similares efectos se observan para el caso de los coliformes totales y *S. faecalis*, no así para los coliformes fecales los cuales debido a su bajo número no son detectados al final de esta etapa. Tales resultados establecen la dependencia de las bacterias remanentes respecto al grado de acidez empleado en los diferentes tratamientos. Los % remanentes promedio obtenidos para ésta etapa y las subsecuentes se pueden apreciar en las gráficas correspondientes a cada tratamiento.

En la etapa de neutralización de los tratamientos 1 y 2 en la cual se adiciona NaOH al 32 % hasta alcanzar un pH de 8.0 – 8.5, se observa que la remoción de las bacterias es mínima comparada con la acidificación, de tal manera que las cuentas totales y *S. faecalis* se siguen detectando en los tres casos, mientras que los coliformes totales prácticamente han sido eliminados en su totalidad, esto debido a las cuentas tan bajas que prevalecen al final de la acidificación.

La coagulación – floculación con sales metálicas ($Al_2(SO_4)_3$ y $FeCl_3$) constituye una operación destinada a eliminar los sólidos suspendidos en el medio. Durante esta etapa, el pH nuevamente es modificado hasta alcanzar el pH de 4.0 – 4.5 que es el intervalo óptimo para su funcionamiento (Orta et. al.1997), para el caso de los tratamientos 1 y 2 los cuales estuvieron bajo una etapa de neutralización durante 30 minutos, el lixiviado es nuevamente sometido a un cambio drástico del pH mientras que los tratamientos 3 no constituyen tal factor al encontrarse en un medio ácido. Tal variación del pH es atribuida a los coagulantes empleados y el cual fue ajustado con ácido sulfúrico o sosa cuando fue necesario.

Las cuentas reportadas en sedimentación son obtenidas después que el lixiviado a sido tratado por los coagulantes ($FeCl_3$ y $Al_2(SO_4)_3$), al pH de 4.0 – 4.5 durante 1 hora acumulada, derivada de 30 minutos de agitación y 30 minutos de reposo para lograr la sedimentación de los sólidos.

En las tablas 7 a 11 (p. 39 – 43) se observa que en los tratamientos A en los cuales se emplean ambos coagulantes, las cuentas promedio detectadas son ligeramente menores respecto a las de los tratamientos B, en los cuales se utiliza sólo $FeCl_3$ a una dosis mayor. Esta etapa contribuye de manera importante también en la remoción de las bacterias sea

por el arrastre de las mismas, o por muerte causada por efecto de la acidez o del coagulante(s).

Cabe mencionar que de las cuentas reportadas en tablas algunas de éstas pueden ser altas respecto a valores provenientes de condiciones de tratamientos similares, por tal motivo y debido a este valor que se aleja demasiado de la tendencia central de los otros puntos, el promedio y por tanto los % remanentes promedio pueden ser engañosos. La presencia de tales valores es debida a que provienen de cuentas altas detectadas en el influente, al tipo de tratamiento usado o pueden ser inherentes a la técnica usada.

En las gráficas 5-8 (p. 44 y 45) se puede observar el perfil de eliminación promedio de las bacterias que se obtienen para cada tratamiento, por etapa y por indicador. Es importante mencionar que estos promedios fueron obtenidos comparando el valor detectado al final de la etapa contra el valor detectado en el influente para el indicador correspondiente.

El efecto de la gradual eliminación de bacterias es mostrado gráficamente y se puede apreciar los efectos antes mencionados de cada etapa de los tratamientos alternos respecto al usual.

Para evaluar la eficiencia del tren de tratamiento actual en comparación con las alternativas propuestas y tomando en consideración las evidentes diferencias existentes de las cuentas detectadas al final de etapas como acidificación y neutralización provenientes de los diferentes tratamientos, y que como fin se busca evaluar las diferencias en el tratamiento global y no por etapas, se determinó realizar un análisis de varianza de un factor en el diseño de bloques aleatorios completos, el cual permite hacer la comparación de dos o mas matrices de datos no necesariamente apareados (es decir que una matriz puede contener mas datos que la otra).

Los resultados del análisis estadístico muestra que no hay diferencia significativa entre los resultados bacteriológicos de los cuatro tratamientos alternos respecto a los del tratamiento usual, esto es, puede emplearse alguno de los cuatro tratamientos sugeridos sin afectar de manera significativa las cuentas de indicadores detectadas.

Todos los tratamientos utilizados permiten eliminar del efluente obtenido al grupo coliforme y *S. faecalis*, esto implica que los indicadores de contaminación fecal son eliminados y por lo mismo, se descarta la presencia de bacterias patógenas en el efluente. Los parámetros fisicoquímicos evaluados, aportan información importante en cuanto a los tratamientos utilizados, en estos se observa que no hay grandes diferencias entre el control y las alternativas propuestas.

La conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) aumentan en comparación al influente lo que puede ser producto de la incorporación de reactivos y formación de sales en el medio. Con respecto al DQO total, en ambas determinaciones se observa un descenso de mas del 50% de su valor inicial pero este valor tampoco muestra una gran diferencia entre tratamientos.

Desde el punto de vista de la calidad microbiológica del efluente y considerando la disposición final del mismo (riego de caminos del relleno sanitario), dicho efluente cumple con los requisitos de los límites máximos permisibles respecto al contenido de coliformes fecales que establece la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997)⁽²⁶⁾ para un agua residual tratada con fines de reuso en servicios públicos.

10 CONCLUSIONES

1. Se adaptaron en el laboratorio los procedimientos analíticos para el análisis de la cuenta total, el grupo coliforme y *S. faecalis* en lixiviados de rellenos sanitarios. Los resultados indican que es factible utilizar la metodología empleada para aguas residuales descrita en el *Standard Methods*.
2. En la caracterización microbiológica del lixiviado en estudio, se detectó valores de cuentas totales del orden de 10^7 a 10^8 UFC/100ml, coliformes totales de 10^6 a 10^7 y fecales entre 10^2 y 10^4 NMP/100ml y *S. faecalis* entre 10^4 y 10^5 UFC/100ml. En cuanto al contenido de coliformes totales y fecales, son de valor similar a los reportados para un agua residual típica⁽²⁵⁾.
3. La simulación de las alternativas de tratamiento de lixiviados se llevó a cabo mediante pruebas de jarras en laboratorio. Los resultados de la caracterización fisicoquímica del lixiviado tratado concuerdan con lo reportado por Orta y colaboradores⁽¹⁹⁾ para dichos tratamientos.
4. El análisis de los indicadores como cuenta total, el grupo coliforme y *S. faecalis* permitió evaluar el efecto de las diferentes alternativas de tratamiento en el control de microorganismos patógenos. Se encontró que la acidificación es la etapa más importante en la remoción de los mismos y que alcanza hasta más del 95% respecto a los detectados en el influente. El análisis estadístico de los resultados demuestra que cualquiera de las opciones estudiadas puede mantener la calidad microbiológica respecto al tren de tratamiento original. El efluente final cumple con los requisitos establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997) para agua residual tratada con fines de reuso a servicios públicos.

11 RECOMENDACIONES

1. Realizar amplios estudios para determinar las condiciones de análisis de indicadores bacteriológicos en lixiviados de rellenos sanitarios.
2. Estudiar si las soluciones de EDTA y tiocianato de sodio son suficientes para neutralizar tan elevadas concentraciones de iones metálicos y de halógenos presentes.
3. Se sugiere evaluar la presencia de estos indicadores cuando el tratamiento elegido se utilice en la planta de tratamiento.
4. Determinar la presencia de los indicadores microbiológicos evaluados en los lodos generados con el fin de establecer los criterios de tratamiento y disposición de los mismos.
5. Hacer un estudio similar encaminado a detectar otros microorganismos tales como helmintos, virus o protozoarios.
6. Realizar la determinación de otros grupos de microorganismos indicadores de contaminación fecal en el efluente obtenido.

12 ANEXOS

ANEXO 1

Abreviaturas utilizadas:

COT.- Carbón Orgánico Total

DQO.- Demanda Química de Oxígeno

DBO.- Demanda Bioquímica de Oxígeno

NMP.- Número Más Probable

SDT.- Sólidos Disueltos Totales

SS.- Sólidos Suspendidos

SST.- Sólidos Suspendidos Totales

TRH.- Tiempo de Retención Hidráulica

TTC.- Cloruro de 2,3,5 – Trifenil Tetrazolio.

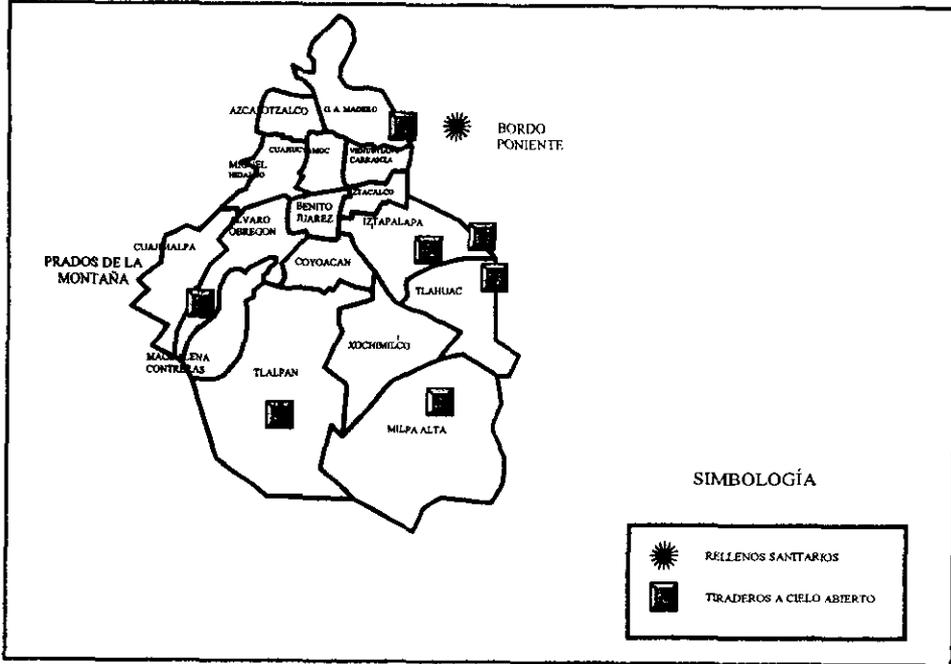
U Pt-Co color.- Unidades de color platino – cobalto.

UNT.- Unidades Nefelométricas de Turbiedad

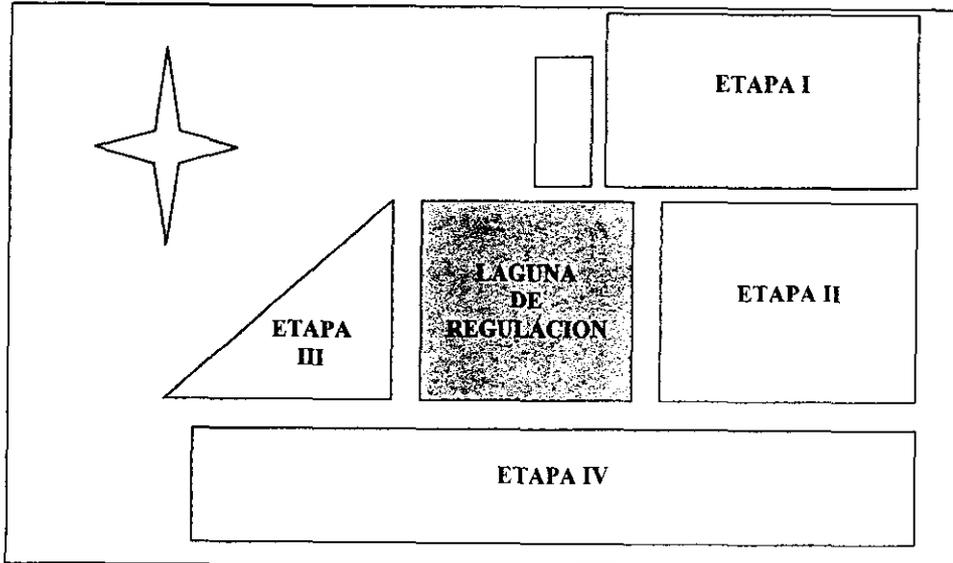
UFC.- Unidades Formadoras de Colonias

ANEXO 2.

Ubicación del relleno sanitario Bordo poniente en el Distrito federal



Distribución por etapas del relleno sanitario Bordo poniente



13 BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bagchi A., (1990). *Design, construction, and monitoring of sanitary landfill*, Wiley Interscience. USA.
- 2.- McBean E.A., Rovers F.A., Farqua G.J, (1995). *Solid wastes landfill engineering and design*. Chapter 11. *Treatment of leachates*. Practice Hall PTR; Englewood Cliffs, New Jersey.
- 3.- Senior E., Shibani B.S., (1993), *Microbiology of landfill sites*. Chapter 4. *Landfill leachates*. CRC Press. USA.
- 4.- Pelczar, Reid, Chain., (1986). *Microbiología*. 2ª. Ed. McGraw-Hill. México.
- 5.- Tchobanoglous G., Theisen H, Vigil S., (1993), *Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues*, McGraw-Hill, USA.
- 6.- APHA (1992), *Standards methods for the examinations of water and wastewater*, 18ª ed. USA.
- 7.- Leithe W., (1980), *La química y la protección al medio ambiente*, Paraninfo, España.
- 8.- Snoeyink V.L., Jenkins D., (1990), *Química del agua*, Limusa, México.
- 9.- Castany G. (1971). *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Omega, México.
- 10.- Carpenter, P., (1979). *Microbiología*. 4ª. ed. Interamericana. México.
- 11.- Davis, L. Dulbecco, L. (1996). *Tratado de microbiología*. 4ª. ed. Masson. Barcelona.
- 12.- Koneman, M. (1977). *Diagnóstico microbiológico*. 3ª. ed. Panamericana. México.
- 13.- Lorraine, S.A., (1980). *Fundamentos de microbiología*. ENUSA. Barcelona.
- 14.- Rodier, J. (1987). *Análisis de las aguas*. ED. Omega. España.
- 15.- Freed Lee. G., D.E.E. and Anne Jones Lee. (1996), *Impact of municipal and industrial non-hazardous waste landfills on public health and the environment: An overview*. G. Fred Lee and Associates. El Macero, CA.
- 16.- Enríquez, E. C., Carlos, H. G.; Cortés, M. J.; Sandoval, V. A. M., 1990, *Manual del taller de adiestramiento sobre microbiología del agua*, México, IMTA.

- 17.- CETESB, Sao Paulo. Coliformes totais. Determinacao pela técnica de membrana filtrante. Método de ensayo. Sao Paulo (1984), (Norma técnica L5.241).
- 18.- *El suministro de agua en la ciudad de México: Mejorando la sustentabilidad*. National Academy Press. Washington, D.C. 1995.
- 19 - Orta, M. T., Ramírez, R.M., Monje, I., Martínez, J.L. (1997). *Sustitución y disminución del consumo de reactivos químicos en la planta de tratamiento de lixiviados de Bordo poniente*. Proyecto de Investigación. II-UNAM. México.
- 20 - Márquez, M.J., (1988), *Probabilidad y Estadística*. ENEP-Z UNAM, México.
- 21 - Sánchez Gómez J. (1994a). *Generación de lixiviados y evaluación de la contaminación de acuíferos*. Curso: "Disposición final de residuos sólidos", DEPFI – UNAM. México.
- 22 - Sánchez Gómez J. (1994b). *Generalidades sobre el relleno sanitario*. Apuntes del curso de disposición final de residuos sólidos, DEPFI – UNAM. México.
- 23 - Engelbrecht, R. S. and Amirhor, P., (1985), *Biological impact of sanitary leachate on the environment*, in Proc. 2nd Natl. Conf. Complete Water Reuse, Chicago.
- 24.- Rinaldi, M.G. (1993). Summary and current nomenclature, taxonomy and classification of various microbial agents. *Clin. Infec. Dis.* (16), 597-615.
- 25.- Orta, M.T., Monje, I., López, E. (1995). Estudios de desinfección del agua residual proveniente del valle de México. Informe final. II-UNAM. México.
- 26.- Norma oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. FEP. 09-21-98.