

64



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

LODOS RESIDUALES: ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS METODOS PARA LA DESINFECCION DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P R E S E N T A :

LUIS RAFAEL LOPEZ MARQUEZ



277164

MEXICO, D. F.

2000

EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA



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

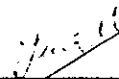
PRESIDENTE	: PROF	ELDA BEATRIZ PENICHE QUINTANA
SECRETARIO	: PROF	BEATRIZ LUNA MILLAN
VOCAL	: Dra.	GABRIELA MOELLER CHÁVEZ
1er SUPLENTE	: PROF	MARÍA ELSA ESCUDERO GARCÍA
2do SUPLENTE	: PROF	MARÍA GUADALUPE TSUZUKI REYES

EL TEMA SE DESARROLLÓ EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ASESORA :
Dra. GABRIELA MOELLER CHÁVEZ



SUSTENTANTE :
LUIS RAFAEL LÓPEZ MÁRQUEZ



CON AGRADECIMIENTO A :
MIS PADRES:
JOSE NEMESIO LÓPEZ SOSA
CONCEPCION MÁRQUEZ HERNANDEZ
POR SU APOYO, COMPRENSION Y AYUDA

Y A MIS HERMANOS:
MARTHA LETICIA
MARIA ISABEL
JUAN JOSE

ÍNDICE

	INTRODUCCIÓN	1
I	ANTECEDENTES	3
	A. Origen del problema	3
	B. La contaminación y sus efectos	4
	C. Balance hidrológico	6
	D. Plantas de tratamiento en la Ciudad de México	10
	E. Usos del agua residual	15
II	PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	18
	A. Proceso de lodos activados	21
	B. Digestión anaerobia	28
	C. Estabilización de los lodos	35
III	DESINFECCIÓN DE LOS LODOS	39
	A. Definiciones	39
	B. Métodos comúnmente empleados en la desinfección	42
IV	MICROORGANISMOS PATÓGENOS PRESENTES EN LOS LODOS	52
	A. Enfermedades transmitidas por los lodos	53

	índice
B. Normas Mexicanas para la disposición de los lodos	56
C. Pruebas utilizadas para determinar la contaminación microbiológica de los lodos	58
V PERSPECTIVAS DEL USO DE LOS LODOS	61
VI PARTE EXPERIMENTAL	65
A. Equipo, material y reactivos	65
B. Procedimiento	77
C. Desarrollo experimental	72
VII RESULTADOS	77
A. Análisis de resultados	97
B. Análisis estadístico	101
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	105
ANEXO 1	106
ANEXO 2	115
ANEXO 3	119
BIBLIOGRAFÍA	125

INTRODUCCIÓN

Los daños que la contaminación ha ocasionado al medio ambiente han repercutido no solo en éste, sino que también han afectado a la salud de las personas.

Tales daños se deben a prácticas nocivas que se realizan en diversos ambientes: por ejemplo, el avance tecnológico en los sistemas de tratamiento de agua residual genera lodos; éstos en la mayoría de los casos, en el país, no reciben ningún tratamiento posterior y son desalojados de la planta hacia el drenaje. Esta es una práctica que va en contra de la protección del medio ambiente y deteriora la vida de hombres, animales y plantas.

De ahí el interés por ahondar en este tipo de problemas de contaminación, para tratar de evitar daños a la ecología y a la salud de las personas.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es comparar dos métodos que puedan ser utilizados para desinfectar los lodos de las plantas de tratamiento, con el propósito de establecer cuál es el que presenta mayor eficiencia en la destrucción de los microorganismos patógenos.

La investigación pretende abarcar la información de los diversos métodos para desinfección y la puesta en práctica en el laboratorio de dos de estos procedimientos.

Los posibles beneficiados con los resultados podrán ser,

introducción

además de las plantas de tratamiento de agua residual, ya que contarán con datos sobre el tema, las personas que tienen contacto con los lodos, quienes podrían evitarse muchas enfermedades. Aunado a lo anterior, se espera que la investigación contribuya en cierta medida a evitar el deterioro del medio ambiente.

I ANTECEDENTES

A. Origen del problema

El agua como elemento fundamental de la vida, ha sido factor primordial en el asentamiento de los pueblos. En la historia de la humanidad, son numerosas las civilizaciones e imperios desaparecidos al perder el dominio del agua: los cursos del agua garantizaban el consumo de la población y a la vez servían de vehículo para transportar los desechos vertidos por sus habitantes.

Al principio, el asentamiento de los pueblos en torno a los ríos se caracterizaba por su idoneidad para la vida, riego, transporte, desalojo de desechos, etc. Pero es precisamente esa idoneidad, la que da origen a la evolución y crecimiento de la población, lo que favorece la aparición de mercados y posteriormente de la industria.

Esta evolución generó la formación de las ciudades actuales, llegando en muchos casos a ocasionar que los cauces, en otro tiempo suficientes para su abastecimiento, sean ahora insuficientes e incapaces de soportar la excesiva carga de aguas residuales, carga que sin cesar va en aumento.

La contaminación del agua no es, por lo tanto, un problema nuevo; si bien, existe una notable diferencia en cuanto a las cantidades y clases de los desechos vertidos, llegando a

constituir en la actualidad un serio problema para el mundo. Su aparición se ha hecho evidente y patente en todos los lugares del planeta, poniendo en peligro la vida de sus habitantes.

Las enormes cantidades de elementos contaminantes vertidos en las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, crean grandes problemas en los cauces superficiales receptores y en las aguas subterráneas, provocando la inutilización de muchos de los recursos hídricos.

B. La contaminación y sus efectos

La sociedad moderna unida al desarrollo industrial, es sin duda, fuente de problemas que perturban la salud física, mental y social, que representa un derecho primordial de todo ser humano. El hombre en su continuo camino de superación, acude a nuevas técnicas para luchar contra los efectos perturbadores de la contaminación que está alcanzando niveles alarmantes.

Por ejemplo, la contaminación del agua, como modificadora de la composición o estado de las aguas, originada por la actividad del hombre, consiste en la incorporación de microorganismos patógenos, ácidos, bases, sales, materia orgánica, elementos tóxicos y elevación de la temperatura, como características más representativas.

Los efectos originados por la contaminación inciden, como es

conocido, sobre la salud física y social, a la vez sobre la economía de un país, por lo que conviene considerar lo siguiente:

- a) los recursos de agua de un país no son ilimitados, se plantea el problema de su escasez, acrecentada por la inutilización de muchos de estos recursos, debido a la contaminación creciente de los vertidos a los ríos y al mar.
- b) el empleo de agua contaminada para usos domésticos o riego, puede producir daños que afecten a la salud pública.
- c) el uso del agua con cierto grado de contaminación exige un control riguroso y un uso restringido.
- d) muchas especies piscícolas son destruidos por los tóxicos vertidos a los cursos de agua; otras especies se desarrollan alimentándose en zonas de agua contaminada, convirtiéndose en vehículos de transmisión de microorganismos patógenos (14).

C. Balance hidrológico

El agua es el recurso más importante, ya que no tiene sustituto: la cantidad de agua que recibe una ciudad y la que utiliza se llama balance hidrológico. Para la Ciudad de México este balance es el siguiente:

El volumen de lluvia media anual arroja un caudal de 213 m³/seg. Se estima que de este caudal se evapotranspiran 171 m³/seg que, por lo tanto, no son susceptibles de aprovechar.

De los 42 m³/seg restantes, 23 m³/seg recargan los acuíferos y 19 m³/seg escurren libremente: de estos últimos 16 m³/seg se desalojan a través de los drenajes de la Ciudad y los 3 m³/seg restantes se regulan para su aprovechamiento.

Para satisfacer las necesidades de la población se requieren 60 m³/seg, los cuales se obtienen de la forma siguiente: 5 m³/seg se importan de agua superficial de los acuíferos de la cuenca del Río Lerma, 9 m³/seg del Río Cutzamala, 40 m³/seg de los acuíferos del Valle de México, 23 m³/seg del caudal que se renueva anualmente y 17 m³/seg del volumen almacenado durante los cientos de años en los que no se explotaba el acuífero. Para completar el abastecimiento se utilizan los 3 m³/seg de aguas superficiales reguladas y 3 m³/seg de aguas residuales tratadas.

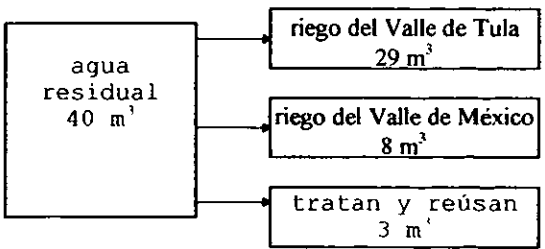
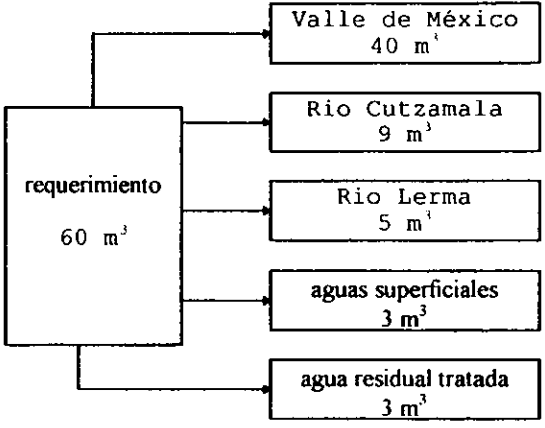
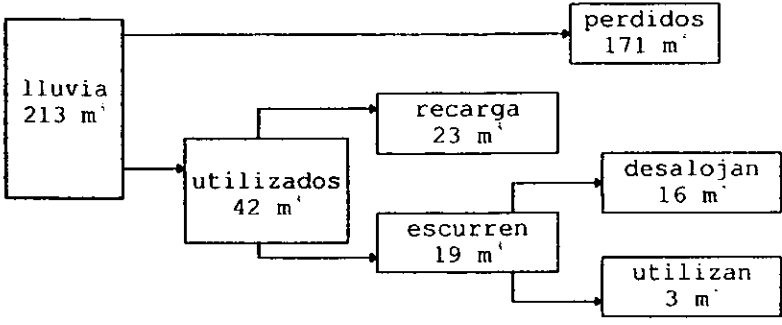
Por lo que respecta al uso que se le da al agua, el 76 del caudal suministrado es destinado al consumo doméstico, el 17 al

uso industrial y el 16% restante, a diversos servicios.

Como resultado del uso de esta agua, se producen 40 m³/seg de agua residual. De este volumen, 3 m³/seg se tratan y se usan para riego de parques, llenado de lagos y diversos usos industriales; se utilizan aproximadamente 8 m³/seg para regar 18,000 ha en el Valle de México y el resto, 29 m³/seg, se destinan para el riego de 56,000 ha en el Valle de Tula. Las aguas residuales que se desalojan de las áreas urbanas presentan un caudal prácticamente constante a lo largo del año, el cual se conduce mediante tuberías y cauces a cielo abierto.

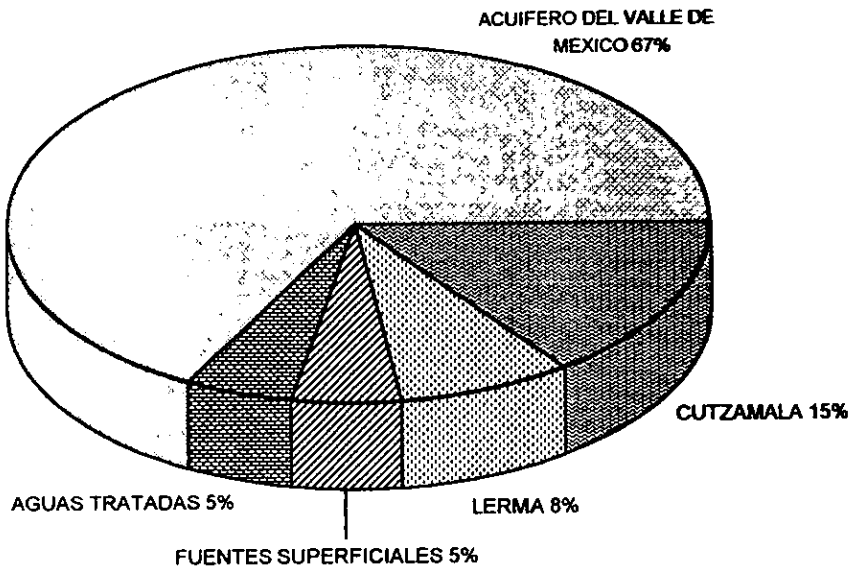
La Comisión Nacional del Agua (CNA), estima que se producen anualmente, a nivel nacional, 5 mil millones de metros cúbicos de agua residual, los cuales si se trataran, producirían 20 millones de toneladas de lodo (13).

DIAGRAMA DEL BALANCE HIDROLÓGICO

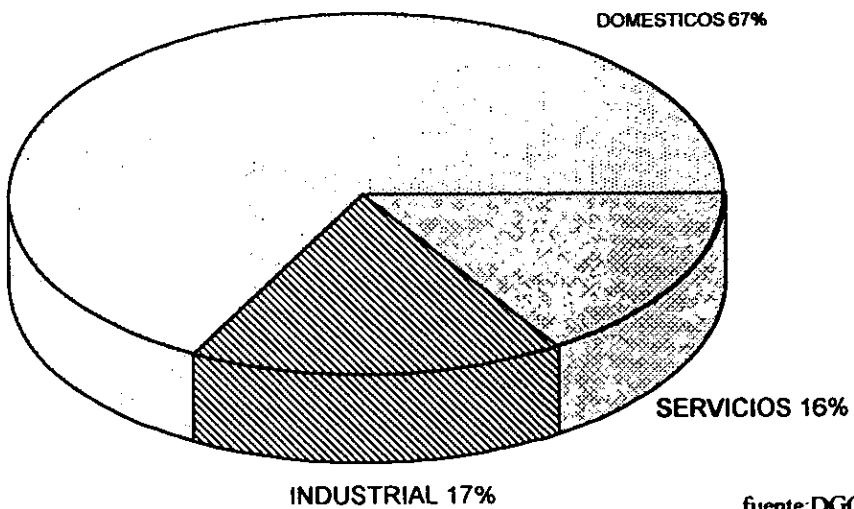


fuentes (13)

ORIGEN DE LAS FUENTES DE AGUA DEL D.F.



DISTRIBUCIÓN DE USOS DEL AGUA DEL D.F.



fuelle:DGCOH

D. Plantas de tratamiento en la Ciudad de México

El estudio del tratamiento de aguas residuales por el proceso de lodos activados y sus correspondientes subproductos a nivel mundial, data del siglo pasado. En México se tienen experiencias al respecto a partir de la mitad del siglo XX.

En otros países, el origen del tratamiento surgió como una condición para preservar las corrientes naturales y la salud de la población. En México este tratamiento apareció por la necesidad de ahorrar agua potable, es decir, que las primeras plantas de tratamiento de agua residual que funcionaron en el país, tenían por objetivo principal proporcionar agua útil para el reuso: principalmente en el riego.

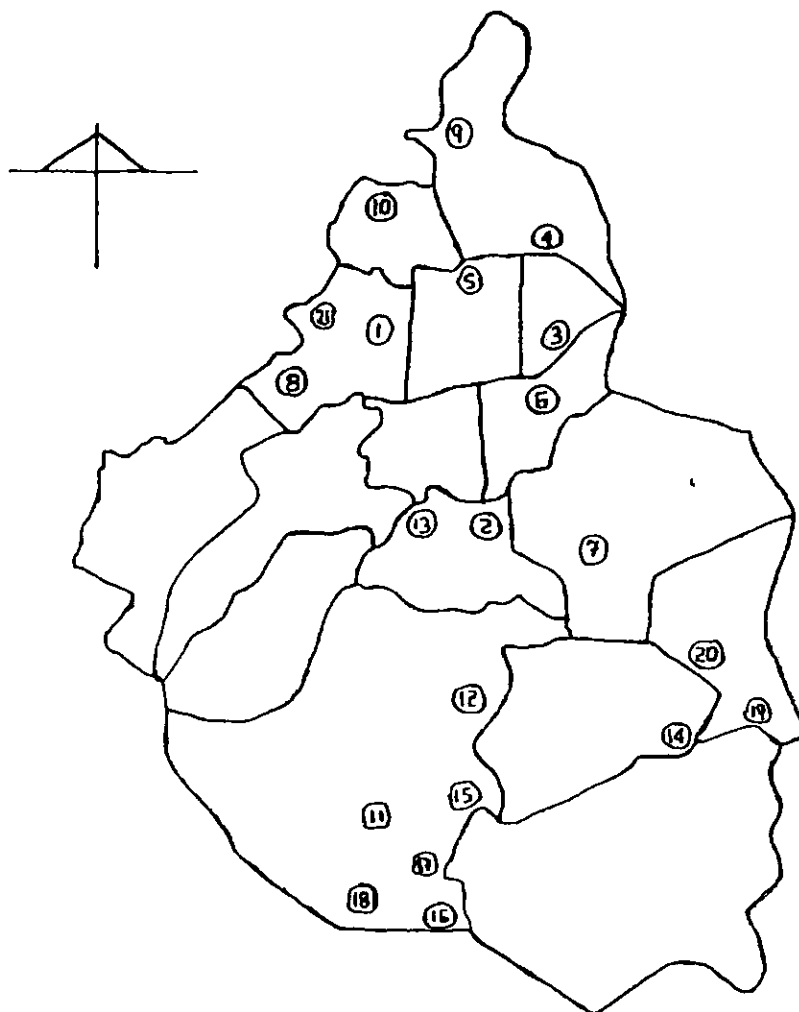
Al construir las primeras plantas no se pensó en evitar la contaminación, pues los caudales tratados eran una pequeña fracción del caudal total de aguas residuales; de ahí que la preocupación por tratar los lodos que se generaban pasó a un segundo término. Aunque la primera planta construida en la Ciudad de México tiene dispositivos para tratar los lodos, esta modalidad pronto se abandonó y en las siguientes plantas se excluyeron estos dispositivos.

El Departamento del Distrito Federal tiene a su cargo la operación de 20 plantas de tratamiento de agua residual con una capacidad de diseño de producción de $5.8 \text{ m}^3/\text{seg}$ y de producción real de $3.3 \text{ m}^3/\text{seg}$, en promedio, de agua útil para reuso. La planta de C.U. es independiente (8).

PLANTAS DE TRATAMIENTO EN EL DISTRITO FEDERAL				
PLANTA	AÑO DE INICIO	CAPACIDAD L/seg		MOTIVO DE CONSTRUCCIÓN
		DISEÑO	OPERACIÓN	
CHAPULTEPEC	1956	160	120	mantener nivel de lago, riego
COYOACÁN	1959	400	260	mantener nivel de los canales
CIUDAD DEPORTIVA	1960	230	75	riego de áreas verdes
SAN JUAN DE ARAGÓN	1963	500	268	mantener nivel de lago, riego
TLALTELOLCO	1965	22	16	riego local
IZTACALCO	1971	13	10	riego local
CERRO DE LA ESTRELLA	1971	4000	2300	recarga de acuífero, riego
BOSQUES DE LAS LOMAS	1973	55	22	riego local
ACUEDUCTO DE GUADALUPE	1979	80	53	riego local
EL ROSARIO	1979	25	25	llenado de lago y riego
H. COLEGIO MILITAR	1980	20	24	saneamiento y riego local
RECLUSORIO SUR	1981	30	24	saneamiento y riego local
C.U.	1982	60	20	riego áreas verdes
SAN LUIS TLAXIALTEMALCO	1989	150	100	recarga de acuífero, riego
PEMEX	1991	25	7	saneamiento
SAN MIGUEL XICALCO	1992	7.5	3	saneamiento y riego
ABASOLO	1993	15	5	saneamiento
PARRES	1993	7.5	2	saneamiento
SAN NICOLÁS TETELCO	1993	15	8	saneamiento y riego local
LA LUPITA	1994	15	10	saneamiento
CAMPO MILITAR	1994	30	20	riego local
TOTAL		5860	3368	

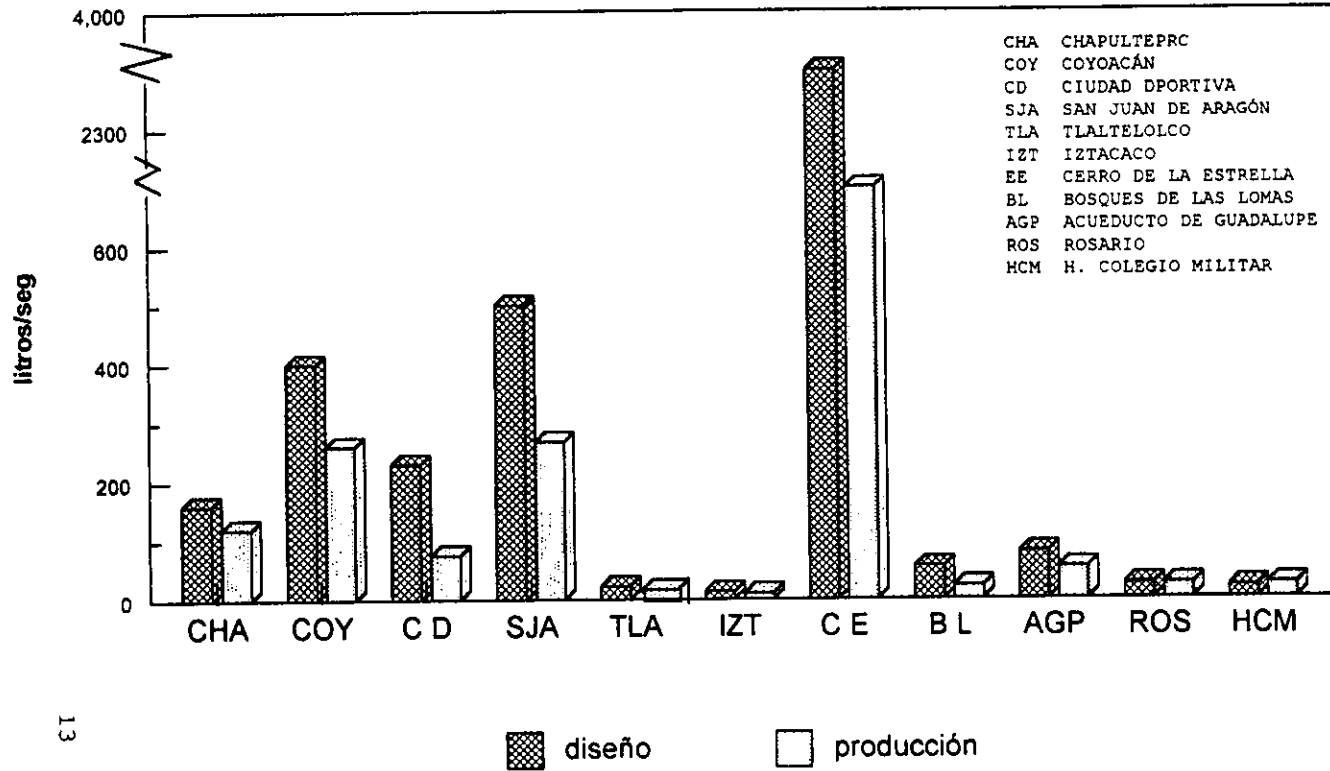
fuelle DDF/ DGCOH (8)

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN EL DISTRITO FEDERAL

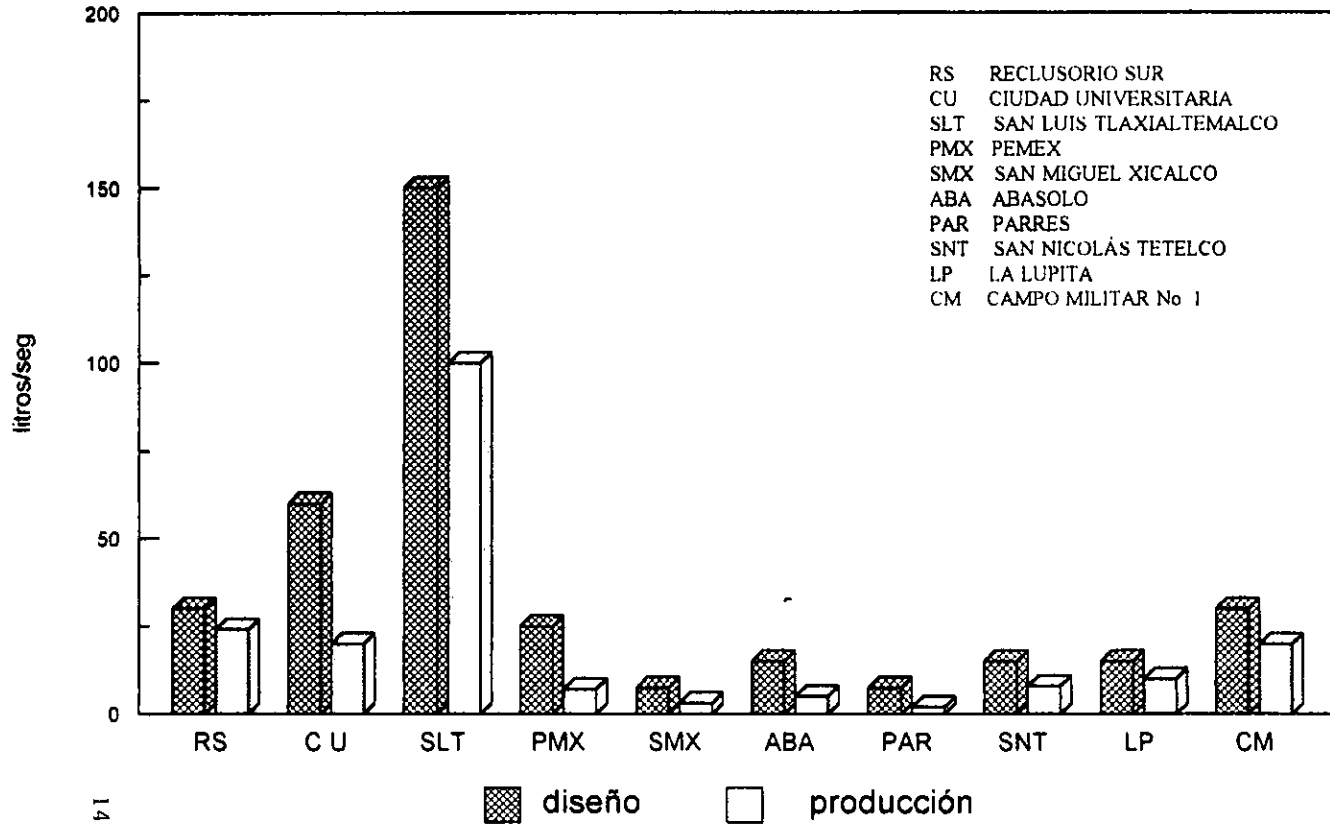


- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1 CHAPULTEPEC | 12 RECLUSORIO SUR |
| 2 COYOACÁN | 13 CIUDAD UNIVERSITARIA |
| 3 CIUDAD DEPORTIVA | 14 SAN LUIS TLAXIALTEMALCO |
| 4 SAN JUAN DE ARAGÓN | 15 PEMEX |
| 5 TLALTELOLCO | 16 SAN MIGUEL XICALCO |
| 6 IZTACALCO | 17 ABASOLO |
| 7 CERRO DE LA ESTRELLA | 18 PARRES |
| 8 BOSQUES DE LAS LOMAS | 19 SAN NICOLÁS TETELCO |
| 9 ACUEDUCTO DE GUADALUPE | 20 LA LUPITA |
| 10 EL ROSARIO | 21 CAMPO MILITAR No 1 |
| 11 H COLEGIO MILITAR | |

PLANTAS DE TRATAMIENTO EN EL D.F.



PLANTAS DE TRATAMIENTO EN EL D.F.



Todas las plantas, con ligeras variaciones, emplean el proceso convencional de lodos activados, seguido de la desinfección con cloro. En las plantas situadas el norte de la ciudad es notable la interferencia en los procesos por las descargas de aguas residuales industriales, lo cual se atenúa hacia el sur de la ciudad. En todas las plantas existe el problema de la espumación que provocan los detergentes residuales presentes (8).

E. Usos del agua residual

Riego

El empleo de agua residual para riego en la agricultura es, sin duda, el uso más amplio que se le da al agua residual en todo el mundo. En México, la práctica de riego de todo tipo de cultivos con agua que no se ha tratado, está muy generalizada, a pesar de que representa un riesgo para la salud pública. Una de las consideraciones principales a tomarse en cuenta para su reuso, debe ser la prevención y control de enfermedades de origen hídrico, esto se logra mediante:

- reducción del riesgo de exposición al público del agua tratada
- reducción de la concentración de microorganismos patógenos en ésta.

El agua residual se ha dividido en dos grupos para sus usos potenciales con fines agrícolas. En el primer grupo está

el agua de riego para forrajes y productos agrícolas que siendo para consumo humano se ingieren cocidos. En el segundo grupo está el agua de riego para los productos alimenticios que se consumen crudos.

Recarga de acuíferos

La recarga de acuíferos con aguas residuales tratadas ofrece varias ventajas, ya que con este método se logra:

- mantener los niveles freáticos
- evitar la intrusión salina
- proveer almacenamiento del agua tratada para usos no potables

Fundamentalmente existen dos métodos para la recarga de acuíferos. El primero consiste en la distribución superficial del agua de recarga, permitiendo que ésta percole hasta los mantos subterráneos, lo que en algunos casos proporciona un tratamiento adicional al agua de recarga, dependiendo de las características del suelo.

Como segundo método más empleado está el bombeo por inyección directa de las aguas tratadas en el manto acuífero. En este caso la calidad del agua de recarga debe ser superior al primer caso, con objeto de evitar taponamientos en el sistema de inyección (9).

Usos industriales

El uso de agua renovada en la industria y en aplicaciones comerciales de gran escala, representa uno de los campos menos explotados. Existen tres factores que son indicativos del gran

potencial que el reuso del agua tratada tiene en estas áreas:

- a) las industrias son uno de los más grandes consumidores de agua.
- b) la mayoría del volumen de agua que se utiliza en las industrias requiere una calidad del agua inferior a la potable.
- c) es común que las industrias se localicen dentro o cerca de las áreas urbanas, las cuales producen una gran cantidad de agua residual, lo cual provoca una gran oferta para su reuso potencial (7).

II PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se entiende por agua residual al conjunto de las aguas utilizadas por una comunidad, la cual está constituida por :

- a) todo lo que recogen los drenajes, como son los desechos domésticos, deposiciones humanas y agua de limpieza que pasa al sistema general de alcantarillado.
- b) los residuos industriales como ácidos, aceites y materia orgánica.
- c) aguas superficiales y atmosféricas que se vierten en el sistema de alcantarillado.

Las aguas residuales están compuestas, aproximadamente, por el 99 % de agua, 0.02 a 0.003 % de sólidos suspendidos y sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas. La descarga de las aguas residuales sin someterlas a algún tratamiento tiene las siguientes consecuencias :

- a) diseminar los microorganismos patógenos
- b) contaminar los cuerpos receptores de agua
- c) eliminar la vida acuática y dañar el ecosistema.

En general, los procesos de tratamiento de agua residual pueden clasificarse en cuatro categorías:

- 1) tratamiento preliminar
- 2) tratamiento primario
- 3) tratamiento secundario o sedimentación
- 4) tratamiento terciario o final

Tratamiento preliminar

Se conoce como tratamiento preliminar o pretratamiento, al conjunto de los siguientes procesos:

- remoción de material grueso
- desmenuzado
- desarenado

En el tratamiento preliminar, el agua pasa a través de una rejilla con el objeto de retener los sólidos de gran tamaño. Los desmenuzadores cortan en pedazos pequeños el material que acompaña al agua residual y permite su paso al siguiente proceso.

Una vez que el agua se ha sometido a los procesos anteriores, es conducida a un tanque en el que serán removidas las arenas, gravas y otros sólidos pesados inertes. Las arenas aquí recolectadas se tratan como desechos sólidos (23).

Tratamiento primario

En el tratamiento primario se separa parte de los sólidos en suspensión y flotación. La corriente de agua pasa a través de un tamizado, a continuación las aguas pasan por un desmenuzador, de ahí pasa a las cámaras de arena. Después de estas operaciones el agua se dirige lentamente a los tanques de sedimentación, donde se depositan los sólidos restantes. Este tratamiento elimina del 40 al 60 % de los sólidos suspendidos.

Aereación

El agua que sale del tratamiento primario es muy inestable, ya que contiene muchas sustancias finamente dispersas junto a los compuestos orgánicos solubles que se oxidan fácilmente; a esta agua se le adicionan lodos del sedimentador secundario y se somete a una intensa aereación, lo que provoca la coagulación de las materias coloidales, las cuales forman flóculos. Las partículas de flóculos son de naturaleza gelatinosa, contienen gran cantidad de bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. En la práctica este proceso tarda de 4 a 8 horas (23).

Tratamiento secundario o sedimentación

La mezcla formada por agua y lodos activados que sale del aereador, entra en un tanque de sedimentación secundaria en donde los lodos activados y la materia orgánica (flóculos), se depositan rápidamente en el fondo. Los lodos se eliminan con rastras mecánicas, una parte de ellos va hacia las tolvas, que los recirculan a los tanques de aeración, para reiniciar el ciclo, la otra parte va a los tanques de digestión. Actualmente esto último no se realiza en muchas de las plantas del D.F. ya que el excedente de lodos se arroja directamente al drenaje municipal (23).

Tratamiento terciario

El agua del proceso anterior, si va a ser utilizada para usos distintos al riego, se filtra y clora. Si es para riego, se clora y se almacena (27).

A. Lodos activados

El proceso de los lodos activados es quizá el método biológico de más amplio uso para el tratamiento del agua residual, doméstica e industrial. Han surgido variaciones del sistema básico, las cuales confieren al tratamiento una versatilidad que le permite adaptarse a un amplio campo de circunstancias operacionales.

El fundamento del proceso consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión floculenta, en un sistema aereado y agitado. La materia en suspensión y la coloidal se eliminan rápidamente de las aguas residuales por la **adsorción** y **aglomeración** en los flóculos microbianos; esta materia y los nutrientes disueltos (materia orgánica de desecho) se descomponen lentamente por acción del metabolismo microbiano, proceso que se le denomina **estabilización**. En este proceso, una parte de la materia orgánica se oxida a sustancias simples como CO_2 , etapa denominada **mineralización** y otra parte se convierte en materia celular nueva, etapa llamada de **asimilación**.

Una parte de la masa microbiana se descompone también por un proceso llamado **respiración endógena**. El proceso oxidativo suministra la energía necesaria para la realización de los procesos de adsorción y asimilación .

Una vez que se alcanza el grado de tratamiento deseado, la

masa microbiana floculenta conocida como lodo se separa del agua residual por asentamiento; esta parte del proceso se conoce como clarificación o sedimentación. El sobrenadante es el agua residual tratada.

La mayor parte del lodo asentado se regresa al tanque de aereación, para mantener la concentración de microorganismos lo suficientemente alta y lograr un tratamiento efectivo, es decir que actúe como un inóculo microbiano. Una fracción de los lodos se extrae para eliminarla, a la que se le conoce como lodos activados de desecho.

En un sistema balanceado, el lodo desechado representa la cantidad neta de masa microbiana producida durante la asimilación, en la etapa de aereación.

La alimentación del agua residual al tanque de aereación es precedida generalmente por un proceso de tratamiento primario, para la remoción de materiales gruesos. El sedimento de esta etapa primaria se conoce como lodo primario, el cual es un producto inestable que no debe confundirse con los lodos activados.

La naturaleza moribunda de los lodos activados significa que la remoción de nutrientes no es un proceso asociado al crecimiento. Sólo una pequeña proporción de los microorganismos presentes en los lodos es viable y genera nueva masa microbiana. Un considerable número de los microorganismos no se reproducen, pero conservan su actividad bioquímica, utilizando nutrientes para proporcionar la energía de mantenimiento (27).

Características de los lodos

Al considerar el comportamiento de los lodos activados, se les trata frecuentemente como si fueran un sistema homogéneo de crecimiento biológico o un catalizador inorgánico; aunque esto puede ser un útil concepto de simplificación, se debe tener en mente que no es un material de composición constante, sino que es un sistema ecológico formado por diferentes tipos de microorganismos, junto con materia inerte, inorgánica y orgánica.

La composición de los lodos de un sistema particular dependerá de la constitución de las aguas residuales por tratar. Las características esenciales de un lodo especifican que, debe contener una población microbiana capaz de descomponer una cantidad, tan grande como sea posible, de los compuestos del agua residual que se va a tratar, además que debe flocular con facilidad.

La población microbiana tendrá la tendencia a adaptarse por sí sola a los compuestos disponibles. La adaptación de una población microbiana es un proceso lento, debido a los bajos niveles de actividad a los que, generalmente, operan los procesos de tratamiento del agua.

Floculación

La naturaleza floculenta de los lodos es de gran importancia en la remoción de contaminantes; así como para la adsorción y aglomeración de materias iónicas, coloidales y en suspensión, presentes en las aguas residuales, además de facilitar la

separación de los microorganismos, cuando se haya alcanzado la descomposición requerida.

Cuando se mezclan los lodos con las aguas residuales entrantes, la aglomeración de los materiales en suspensión con los flóculos tiene lugar rápidamente y produce un descenso de la demanda de oxígeno. La descomposición y asimilación del material aglomerado continúa lentamente, acompañadas de una producción y descomposición de la biomasa: a este proceso se le llama **estabilización**, ya que la descomposición de la materia orgánica hace menos propensa la putrefacción.

La unidad ecológica de los lodos es el flóculo individual. Los flóculos son cúmulos de millones de células bacterianas, junto con otros microorganismos y compuestos. Un buen flóculo es el que está en equilibrio dinámico, entre la tendencia de hacerse más grande y el efecto de romperse en unidades pequeñas. Los flóculos grandes tienden a formarse de bacterias muertas rodeadas por bacterias vivas (26).

En un tiempo, la formación de flóculos se atribuyó al microorganismo productor de lama, Zoogloea ramigera, que segrega un material gelatinoso en el que se aglomeran los otros microorganismos. Actualmente, se ha demostrado que una gran variedad de bacterias que se encuentran en los lodos son capaces de formar flóculos (29).

Crecimiento microbiano

Entre los microorganismos más importantes que se encuentran en los lodos podemos mencionar a las bacterias, algas, hongos, protozoarios y rotíferos, cada uno tiene actividades específicas que desarrollar en el proceso de los lodos activados.

Las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son responsables de la descomposición de la materia orgánica contenida en el agua residual.

Entre las bacterias podemos encontrar varios tipos como: *coliformes*, *Streptococcus*, *Proteus*; también están presentes otros géneros como *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium*, *Nitrobacter* y *Nitrosomona*: bacterias y hongos filamentosos como *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Leptothrix*, *Geotrichum*.

La actividad metabólica de otros microorganismos también es importante en el proceso. Los protozoarios y rotíferos actúan como barredores del agua, ya que los protozoarios consumen bacterias dispersas que no se han adherido a algún flóculo y los rotíferos consumen pedazos de flóculo que no han sedimentado. Cada tipo de población está interrelacionada y cada clase de microorganismo tiene su propia curva de crecimiento, la cual depende de la materia orgánica presente que le sirve como substrato o alimento y de los factores ambientales como pH, temperatura, cantidad de oxígeno, etc (10).

10

8

6

4

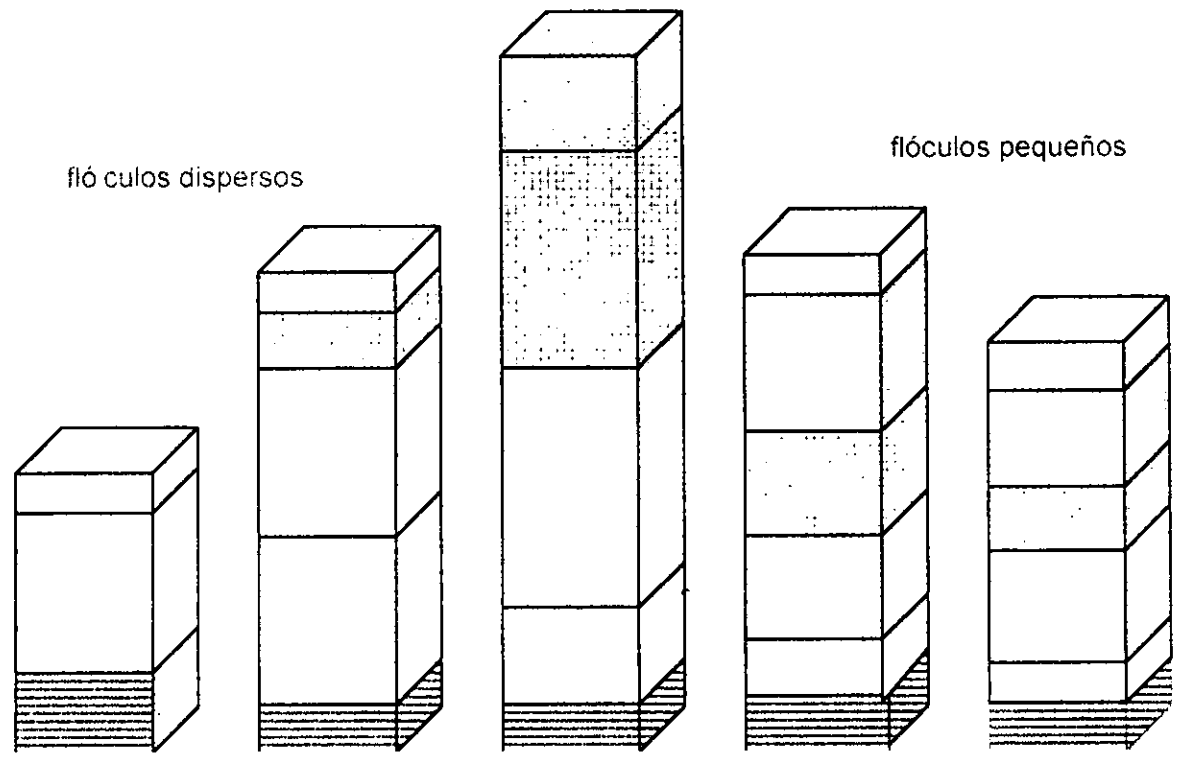
2

0

buena sedimentación

flóculos dispersos

flóculos pequeños



caudales



flóculos



flóculos



flóculos

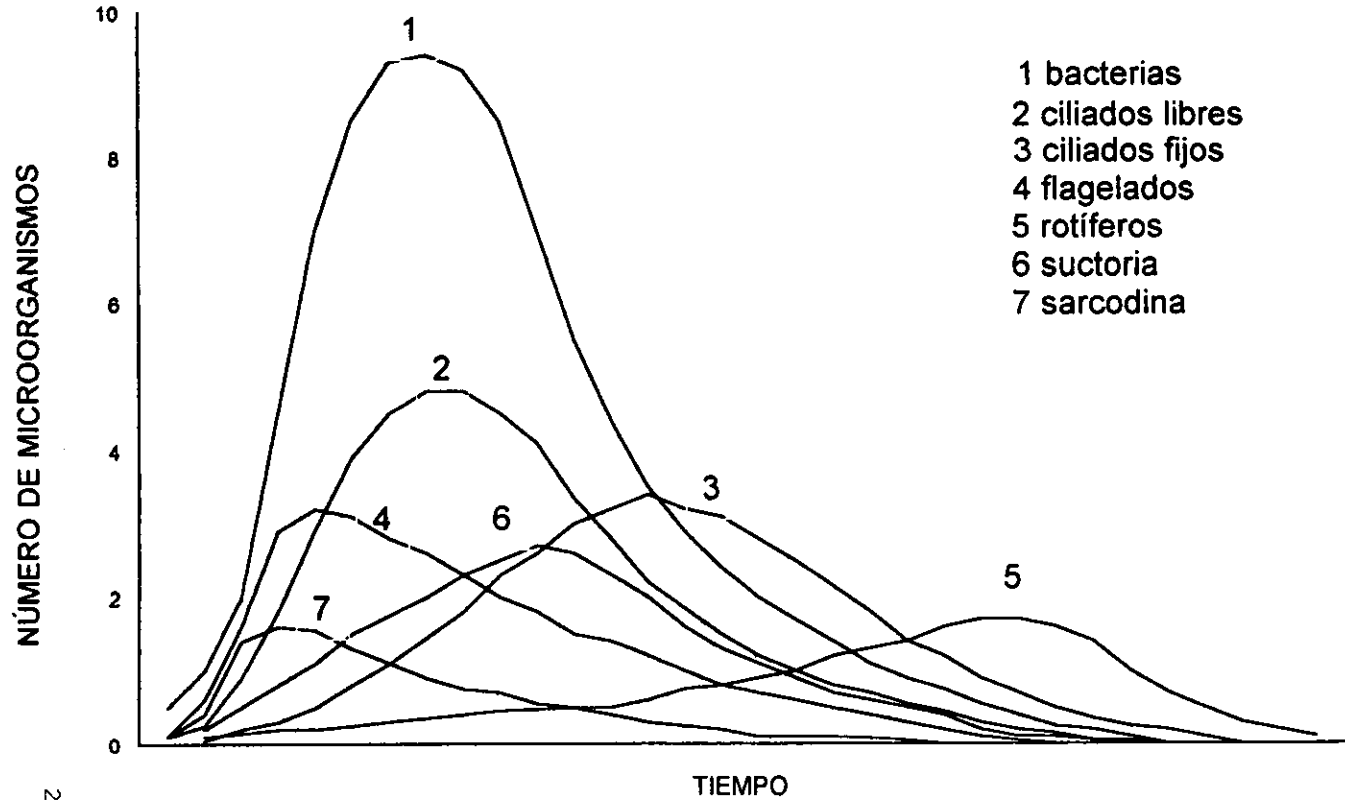


flóculos



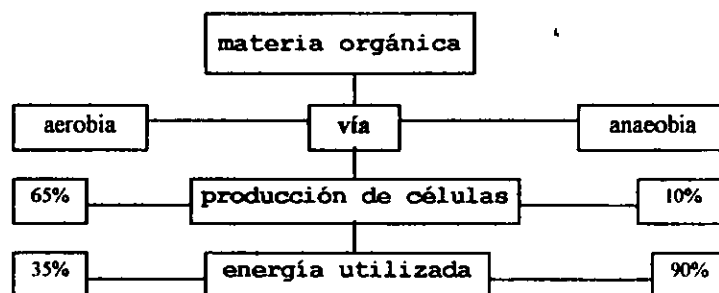
flóculos

CURVAS DE CRECIMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE MICROORGANISMOS EN LODOS



B. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La principal división de los procesos biológicos en el tratamiento de aguas residuales, se hace con base en la vía metabólica de los microorganismos presentes y en el tipo de aceptor final de electrones. Así, se tienen procesos aerobios que requieren oxígeno y procesos anaerobios que operan en ausencia de oxígeno. Las principales diferencias entre los procesos aerobios y anaerobios, desde el punto de vista energético es el siguiente:



Las bacterias aerobias emplean de 60 a 65 % de la energía del sustrato en la síntesis de nuevas células y la fracción restante es utilizada para otras funciones metabólicas y disipada en forma de calor.

Las bacterias anaerobias utilizan el 10% de la energía del sustrato para su reproducción y el 90 % restante lo utilizan en la producción de metano.

Es así que en la vía anaerobia se producen pocas células (lodo), mientras que la vía aerobia genera una cantidad

aproximadamente cinco veces mayor, con los consecuentes problemas de tratamiento y disposición de lodos de desecho (21).

Fundamentos bioquímicos de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso bioquímico realizado en ausencia de oxígeno; en él, la materia orgánica se descompone por la acción microbiana hasta metano y dióxido de carbono. En el proceso se liberan electrones cuyo aceptor final es un compuesto diferente del oxígeno, como pueden ser nitratos, sulfatos o dióxido de carbono. Este proceso se puede describir en seis fases principales que son:

1) Hidrólisis de biopolímeros

(proteínas, carbohidratos y lípidos)

2) Fermentación de aminoácidos y azúcares

3) Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga

4) Oxidación anaerobia de productos intermedios (acetogénesis)

5) Conversión de acetato a metano (metanogénesis)

6) Conversión de hidrógeno a metano.

Este proceso lo realiza una comunidad de cuatro diferentes grupos de microorganismos que son:

- a) bacterias hidrolíticas
- b) bacterias acetogénicas productoras obligadas de hidrógeno (OHPA)
- c) bacterias metanogénicas hidrogenofílicas
- d) bacterias metanogénicas acetoclásticas (22).

1. Hidrólisis de biopolímeros

En general, las bacterias son incapaces de utilizar la materia orgánica mientras está no haya sido desdoblada hasta polímeros solubles y monómeros, de tamaño adecuado para poder ser transportados a través de la membrana celular; por lo tanto, la hidrólisis es el primer paso que se realiza para que los microorganismos se alimenten.

El proceso de hidrólisis de la materia orgánica, se lleva a cabo por la acción de enzimas extracelulares (celulasas, amilasas, proteasas y lipasas), que rompen polisacáridos complejos en azúcares simples, proteínas en péptidos o aminoácidos y grasas en glicerol y ácidos grasos (22).

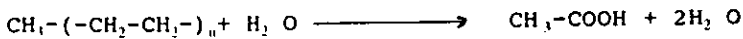
2. Fermentación de aminoácidos y azúcares

Los sustratos para la fermentación son aminoácidos, azúcares, productos de la degradación intermedia y los productos de la biomasa. Es en esta etapa donde se origina la mayor producción de biomasa durante todo el proceso.

Es importante destacar que, de acuerdo a la cinética de las reacciones involucradas en el proceso de fermentación, esta etapa no es la limitante en el desarrollo de la digestión anaerobia y no es tan dependiente del pH. Pero su control es muy importante, pues una sobrecarga de materia orgánica en el reactor puede provocar una sobreproducción de ácidos volátiles y bajar el pH hasta niveles inhibitorios para las bacterias metanogénicas (6).

3. Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga

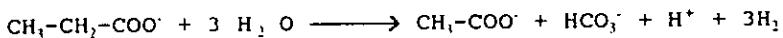
Se ha demostrado que la degradación de ácidos grasos de cadena larga, en un reactor anaerobio ocurre por β -oxidación, según la siguiente reacción:



La obtención de hidrógeno en esta etapa proviene de la oxidación de piridín dinucleótidos reducidos (NADPH). Se tiene un potencial redox de -0.32 mv a pH=7 y con base en consideraciones termodinámicas, se verá inhibida por presiones parciales de hidrógeno, mayores de 10^{-4} barias (bar) (6).

4. Oxidación anaerobia de productos intermedios (acetogénesis)

En esta fase, el propionato y butirato (de los productos intermedios) se reducen a acetato e hidrógeno por la acción de las bacterias acetogénicas productoras obligadas de hidrógeno (OHPA), (obligate hydrogen producing acetogen), según la reacción:



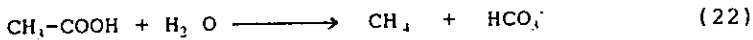
La característica de las bacterias OHPA es que son inhibidas por el hidrógeno que producen, por lo que es necesario que éste no se acumule en el medio.

5. Conversión de acetato a metano (metanogénesis)

Esta fase comprende la conversión de acetato e hidrógeno a metano. Las bacterias que participan en este proceso se llaman

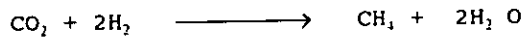
bacterias metanogénicas acetoclásticas. Son los únicos microorganismos capaces de catabolizar anaeróbicamente acetato e hidrógeno en ausencia de energía luminosa. Se encuentran en la naturaleza en ausencia total de oxígeno y crecen muy lentamente, algunas especies se duplican en cuatro días, otras especies pueden tardar diez días.

El 70% del metano producido en un reactor anaerobio proviene de esta fuente y se produce por la descarboxilación del acetato según la reacción:



6. Conversión de hidrógeno a metano

Las **bacterias metanogénicas hidrogenofílicas o reductoras de dióxido de carbono**, son las encargadas de utilizar el hidrógeno producido en la oxidación anaerobia (paso tres) para reducir el CO_2 a CH_4 según la reacción:



Existen algunas consideraciones acerca del proceso de digestión anaerobia que deben destacarse. Una es la estrecha dependencia de las bacterias acetogénicas productoras obligadas de hidrógeno, OHPA (fase 4), con las bacterias metanogénicas hidrogenofílicas (fase 6); estas últimas se encargan de consumir el hidrógeno producido por las OHPA: esta es una relación **sintrófica**.

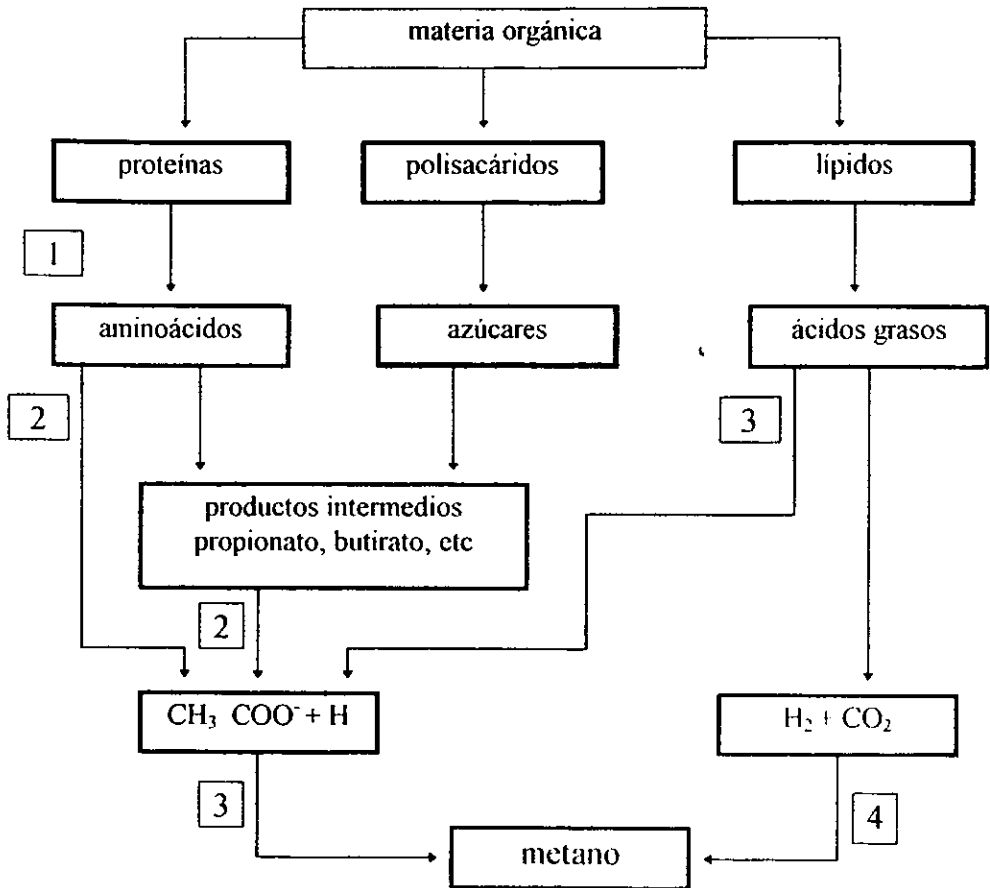
En un digestor estabilizado, las concentraciones típicas de acetato y propionato oscilan entre 10^{-1} y 10^{-5} mol/L, con presiones

parciales de hidrógeno inferiores a 10^{-4} bar.

Además de los anteriores puntos, el proceso requiere de anaerobiosis estricta, condiciones reductoras rigurosas (menores de -300 mv) y ausencia de aceptores minerales de electrones finales que favorezcan otras vías en competencia con la metanogénesis. Es muy importante cuidar las condiciones requeridas por las bacterias como son temperatura, pH, presencia de oligoelementos y ausencia de inhibidores.

Por lo general, la metanogénesis ocurre óptimamente entre un pH de 6.8 a 7.2 y rangos de temperatura mesofílicos (20-40°C) o termofílicos (50-60°C) (6).

PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA



- 1 bacterias hidrolíticas
- 2 bacterias acetogénicas productoras obligadas de hidrógeno
- 3 bacterias metanogénicas acetoclásticas
- 4 bacterias metanogénicas hidrogenofílicas o reductoras de bióxido de carbono

fuelle: Pavlostathis and Giraldo-Gómez (22).

C. Estabilizacion de lodos

La estabilización de lodos se ha practicado desde hace más de 100 años; la palabra estabilización se ha adoptado como un término para todos los métodos de tratamiento que mejoren las características problemáticas del lodo. Puede considerarse que un lodo estable es aquel que puede ser descargado en el medio ambiente sin que cause daño alguno, ni produzca condiciones dañinas o indeseables. Los objetivos principales para efectuar la estabilización del lodo son:

- a) reducir el número de microorganismos patógenos
- b) descomponer la materia orgánica en compuestos inertes o inorgánicos
- c) eliminar olores desagradables.

Los métodos empleados para la estabilización se dividen en dos tipos:

1) **procesos biológicos** - los cuales efectúan una estabilización permanente y son :

- a) digestión anaerobia - con calor y sin calor
- b) digestión aerobia - sin calor y autotérmica
- c) proceso de digestión doble
- d) composteo - pilas, hileras, tambores.

2) **procesos químicos** - los que logran una estabilización temporal como:

- a) adición de cal hidratada y cal viva
- b) adición de otros agentes: peróxidos, clorados y oxidantes fuertes (4).

Digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es uno de los procesos de estabilización de lodos más empleada. Generalmente los lodos tratados con este método tienen un olor menos desagradable que los lodos crudos y la cantidad de microorganismos patógenos es menor.

La digestión anaerobia con calor, opera entre los 50°C y 65°C, las ventajas de este método son, reducción de patógenos y sólidos volátiles. Además, los tiempos de retención son más cortos, 0.5 a 3 días. Tiene la desventaja de ser un proceso inestable; ya que las bacterias involucradas en el proceso son muy sensibles a cambios en el pH y temperatura, así como a la presencia de sustancias tóxicas.

Digestión anaerobia sin calor, se lleva a cabo en lagunas de estabilización, sus costos de operación son bajos, pero se requiere de grandes superficies de terreno y tiempos de retención largos (6).

Digestión aerobia

La digestión aerobia sin calor se lleva a cabo a temperatura ambiente; el proceso consiste en la aereación del lodo durante 10 a 15 días. El grado de estabilización disminuye con la temperatura.

La digestión aerobia autotérmica aprovecha el calor producido por la oxidación biológica del lodo. Si la temperatura

se mantiene entre 35°C y 70°C, con tiempos de retención de 3 a 8 días. Se obtiene un lodo estable con una reducción considerable de patógenos (pasteurización) (4).

Doble digestión

Este proceso tiene dos fases, la digestión aerobia autotérmica y la digestión anaerobia mesófila. En la primera fase se lleva a cabo la digestión autotérmica, usando oxígeno de alta pureza, en ésta se efectúa una oxidación parcial de los sólidos del lodo a una temperatura entre 50°C y 60°C; posteriormente se pasa a la fase anaeróbica, donde la temperatura baja a 35°C. Tiene un tiempo de retención de 15 a 20 días (3).

Composteo

El composteo es la oxidación biológica, aerobia y exotérmica sin control en pilas de lodo crudo. Normalmente, con este proceso se obtiene un lodo seco muy estable. Una de las desventajas es la producción de olores desagradables durante los primeros días, debido a las altas temperaturas que se generan. El confinamiento del lodo durante un año, produce una completa estabilización de éste (3).

Estabilización química

El tratamiento de los lodos con sustancias químicas para su estabilización tiene ventajas sobre los tratamientos biológicos en términos de simplicidad de operación y tiempo. Las principales desventajas de estos métodos son:

- a) los altos costos de los reactivos
- b) la estabilización se debe realizar en recipientes cerrados
- c) algunos compuestos empleados no tienen efecto duradero.

La estabilización química se puede efectuar con Ca(OH)_2 , CaO , H_2O_2 , NaNO_3 , KMnO_4 , NaClO_3 . Sin embargo, el uso de compuestos clorados no se recomienda en lodos que se piensan utilizar como mejoradores de suelo. Las sales ferrosas se utilizan en la remoción de sulfuros (4).

III DESINFECCION DE LOS LODOS

A. Definiciones

La salud y el bienestar del hombre dependen, en gran medida, de su conocimiento sobre las poblaciones microbianas. La destrucción o inhibición de los microorganismos se puede lograr con el empleo de agentes físicos y productos químicos.

Los procedimientos empleados tienen por fundamento someter a los microorganismos a la acción de un producto químico que les sea nocivo o a una condición física desfavorable. Algunos de estos procedimientos se limitan a inhibir el crecimiento o la actividad metabólica, mientras que otros destruyen efectivamente las células.

En muchas investigaciones de los efectos de la actividad antimicrobiana, es necesario la comprensión de los términos empleados, la cual no se alcanza fácilmente porque muchos de ellos son relativos o sufren alguna deformación en su uso cotidiano. Se ha observado que las imprecisiones son abundantes en la literatura técnica, por lo que a continuación se da una lista de los términos más comunes (23).

esterilización - procedimiento para destruir todas las formas de vida; objeto esterilizado, en Microbiología, se refiere a la ausencia total de todos los microorganismos.

desinfectante - agente, por lo general producto químico, que

mata las formas vegetativas de los microorganismos patógenos, pero no necesariamente las formas resistentes o esporas, se aplica sobre objetos inanimados.

antiséptico - producto que se opone a la sepsis (infección, sucio), detiene el desarrollo de los microorganismos, destruyéndolos o inhibiendo su crecimiento y actividad.

higienizante - producto higiénico o sanitario que reduce la población microbiana a niveles que se juzgan no perjudiciales a la salud pública. Por lo general destruye el 99.9% de las bacterias en crecimiento, se aplica en objetos inanimados. La higiene implica la condición de limpieza, que no es imprescindible en la desinfección.

germicida - agente que mata las formas vegetativas de los gérmenes, pero no necesariamente las formas esporuladas. Prácticamente es lo mismo que desinfectante, se aplica contra toda clase de gérmenes y en todos los lugares, el desinfectante se refiere al empleo contra los microorganismos patógenos.

bactericida - cualquier agente que destruye las bacterias, igual que fungicida, viricida, esporicida, designan los agentes que destruyen hongos, virus y esporas, respectivamente.

bacteriostasis - define un estado en el cual se encuentra impedido el crecimiento de las bacterias. Fungistático detiene el desarrollo de los hongos.

antimicrobiano - es aquel que interfiere en el crecimiento y actividad de los microbios.

patógeno - es todo agente capaz de producir enfermedad.

patogenicidad - se refiere a la cualidad de un parásito de penetrar en un hospedero y provocar alteraciones fisiológicas o anatómicas, es decir enfermedad.

patógenos facultativos - son microorganismos que producen enfermedad en ciertas circunstancias muy excepcionales.

microorganismos saprófitos - son microorganismos que nunca interfieren en el funcionamiento normal de su hospedero o que no habitan sobre animales o vegetales vivos, generalmente viven en materia inanimada o sustancias orgánicas muertas o en descomposición.

microorganismos aerobios - son microorganismos que crecen en presencia de oxígeno libre.

microorganismos anaerobios - son microorganismos que crecen en ausencia de oxígeno molecular.

microorganismos facultativos - crecen en ausencia o en presencia de oxígeno libre.

B. MÉTODOS COMÚNMENTE EMPLEADOS EN LA DESINFECCIÓN

Temperatura

Las diversas especies pueden crecer en una amplia escala de temperaturas, ejemplo, psicrofilos, mesófilos y termófilos; cada uno de estos tipos tiene una temperatura óptima, mínima y máxima de crecimiento. Las temperaturas superiores a la máxima ejercen un efecto letal, mientras que las inferiores a la mínima, en general, se consideran de efecto estático. Por ejemplo, las células vegetativas mueren a temperaturas entre 50 y 70°C (calor húmedo), pero para matar a las esporas se necesitan temperaturas mayores, 100°C durante más tiempo (23).

Calor húmedo

El calor en forma de vapor saturado a presión es el agente de esterilización más práctico y seguro. La temperatura de vapor a presión es siempre superior a la de ebullición normal. La forma en que el calor húmedo destruye a los microorganismos, es coagulando las proteínas celulares; la presencia de agua favorece este proceso, además ofrece las ventajas de la rápida calefacción, buena penetración y humedad abundante; el aparato que se utiliza es el autoclave. No es la presión la que mata a los microorganismos, es la temperatura del vapor a presión, generalmente el autoclave funciona a la presión aproximada de 2

atmósferas (2 kg/cm²) y 121°C, los tiempos usuales para esterilizar son 15 minutos (23).

Esterilización fraccionada

Algunos medios o sustancias no pueden calentarse a temperaturas superiores a 100°C sin que se alteren. Sin embargo, cuando resisten temperaturas de 100°C (vapor fluyente), pueden esterilizarse por esterilización fraccionada (Tindalización). Esta consiste en calentar el material a 100°C durante tres días consecutivos con incubación en los intervalos; las esporas germinan en los intervalos de incubación y se destruyen en las sucesivas exposiciones al calor. En esta técnica se puede utilizar el aparato llamado esterilizador de Arnold, aunque también se puede obtener el mismo resultado usando el autoclave con el vapor fluyente (23).

Pasteurización

La pasteurización es un proceso en el cual el lodo se calienta a cierta temperatura por un tiempo corto; por ejemplo, a 70°C durante 30 minutos.

La pasteurización del lodo tiene por fundamento la alta susceptibilidad del desarrollo de las enterobacterias presentes, incluidas las salmonelas. Se ha sugerido que la pasteurización reduce los niveles de la flora competitiva y rompe las largas

moléculas orgánicas en compuestos fácilmente asimilables. Ambos factores son estimulantes para que las enterobacterias sobrevivan al proceso de pasteurización. Este proceso no reduce la putrefacción del lodo, por lo que se debe de combinar con otra clase de estabilización, usualmente una digestión anaerobia mesófila.

El lodo crudo usualmente contiene entre 10^7 y 10^8 coliformes/mL. Después de la digestión anaerobia mesófila, los niveles se reducen entre 10^4 y 10^5 coliformes/mL. Una postpasteurización reduce los coliformes de 100 a 0 coliformes/mL; pero durante el almacenamiento se observa un aumento a 10^6 a 10^7 por mL. Reducir la temperatura de 70 a 60°C con el mismo período de exposición, puede matar a los microorganismos patógenos, pero hay varias razones para no reducir la temperatura. Una de ellas es por los márgenes de confianza para alcanzar una temperatura homogénea, ya que la cantidad de materia orgánica que protege a los microorganismos contra la acción del calor, hace que esté penetre lentamente, especialmente, cuando se forman agregados.

Una desventaja de la pasteurización es la de no afectar a las formas resistentes al calor, como son las esporas, huevos de parásitos y algunos tipos de virus.

Originalmente, la digestión se hacia como un paso previo al proceso de pasteurización; pues no es raro encontrar numeros altos de enterobacterias en lodos pasteurizados, después del almacenamiento, como en los lodos crudos.

Actualmente, se efectúa la modalidad de prepasteurización, esto es que el lodo crudo es pasteurizado y después se introduce al digestor.

El proceso se ha desarrollado en una etapa a nivel laboratorio en Suiza, donde la meta es eliminar salmonelas (17).

Incineración

La incineración es el quemado de material volátil, en presencia de oxígeno. Estrictamente hablando, la incineración no se usa como un método de tratamiento de lodos, sirve para convertir el lodo en cenizas, las que después pueden usarse en diversas formas. A causa de las altas temperaturas, se reduce el volumen, a cerca del 20% del volumen original de los materiales sólidos.

Cuando el lodo se quema en presencia de suficiente oxígeno, sus constituyentes se degradan completamente en sus componente químicos básicos y eventualmente permite la reducción de sustancias usadas como combustible.

La incineración ofrece ventajas como la reducción del volumen de los lodos, elimina los problemas de contaminación, ya que elimina completamente los microorganismos y degrada los compuestos tóxicos. Generalmente se utilizan temperaturas desde los 769 a 816°C. La incineración se usa actualmente sólo en algunos países (15).

Radiaciones

El término radiación, define el fenómeno de la emisión y propagación de la energía en el espacio o a través de un medio material. Los tipos principales de radiaciones son las electromagnéticas, las acústicas y las de partículas; entre ellas se pueden establecer muchas subdivisiones. La diferencia entre las diversas radiaciones se funda en la longitud de onda, la cual se mide en angstroms (\AA), $1\text{\AA} = 1 \times 10^{-10}\text{m}$. Las radiaciones de longitud de onda más corta que la de la luz visible son las que ejercen el efecto letal más pronunciado. Las radiaciones de acción nociva para los microorganismos son:

- 1- radiaciones electromagnética, ejemplo , rayos ultravioleta
- 2- radiaciones ionizantes, como los rayos X, rayos gamma y rayos catódicos
- 3- ondas ultrasónicas de alta frecuencia.

Uno de los aspectos más notables de la esterilización por radiaciones, es que producen poco calor en el material irradiado, de ahí que se designen como esterilización en frío (23).

Luz ultravioleta

La sección ultravioleta del espectro comprende todas las radiaciones entre 150 y 3,900 \AA . Las radiaciones de acción microbicida más intensa son las que tienen longitud de onda de unos 2,650 \AA .

La energía radiante de la luz solar está parcialmente

compuesta por luz ultravioleta, la mayoría de ondas de este tipo son filtradas por la atmósfera terrestre (ozono, nubes y humo), por lo que las radiaciones ultravioleta en la superficie de la tierra están restringidas a un rango de 2,870 a 3,900 Å, por lo que podemos decir que la luz solar tiene capacidad microbicida, pero en grado limitado.

Se pueden obtener lámparas que emiten concentraciones elevadas de luz ultravioleta en su región más efectiva, 2,600 a 2,700 Å. Estas lámparas se utilizan para reducir la población microbiana de ciertos lugares como quirófanos, lugares de envasado de productos inyectables, etc.

La luz ultravioleta es absorbida por muchas sustancias celulares, pero más por las proteínas y los ácidos nucleicos, a los cuales causa daño. La absorción y las reacciones subsecuentes se efectúan predominantemente en las pirimidinas del ácido nucleico. Una alteración importante es la formación de un dímero de la pirimidina, en el cual dos pirimidinas adyacentes se enlazan. Si los dímeros no se separan, se inhibe la replicación del ADN y pueden haber mutaciones o muerte celular. Según la dosis de luz ultravioleta, se puede provocar la inactivación de enzimas, mutación genética o muerte.

Un importante aspecto práctico que se debe considerar es que los rayos ultravioleta tienen muy poca capacidad para penetrar la materia. Su acción sobre los objetos es sólo superficial, aún una delgada capa de vidrio quita gran cantidad

de estos rayos. Así, sólo los microorganismos que se encuentran en la superficie de los objetos expuestos directamente a la acción de la luz son susceptibles de ser destruidos. Por esta razón es poco factible que se utilice en la actualidad para el tratamiento de los lodos (17).

Rayos gamma

Son radiaciones de alta energía emitidas por ciertos isótopos radiactivos, como el cobalto 60. Los rayos gamma son semejantes a los rayos X, pero su longitud de onda es más corta, tienen gran capacidad de penetración en la materia y son letales para los microorganismos. Su poder de penetración los hace muy apropiados para la esterilización de materiales de considerable grosor.

El efecto que tienen las radiaciones gamma al incidir sobre las sustancias es el de ionización. La energía radiante, al penetrar en la célula incide sobre algunas moléculas y desplaza de éstas un electrón, el cual es captado por otra molécula, ambas moléculas adquieren un alto grado de reactividad y pueden reaccionar con otros constituyentes celulares. Se supone que una de las causas principales de los efectos nocivos se debe a la ionización del agua intracelular, con liberación de radicales hidróxilo e hidrógeno, los cuales reaccionan con otros compuestos causando el efecto nocivo (28).

Para tratar los lodos con dosis de radiación gamma, se han

efectuado diversos experimentos, por ejemplo, el realizado en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. En este trabajo se utilizó cobalto 60, se irradió un volumen de 20 litros de lodo con 10 a 14 kgy/h (1 kgy= 1 J/kg).

Los lodos tratados contenían una población aproximada de 7.06×10^6 nmp/100 mL, y después del tratamiento con cobalto 60, se obtuvo una cuenta de 5.9×10^1 nmp/100mL; lo que da una reducción del 99.9% (1).

Rayos catódicos

Cuando se establece un potencial elevado entre el cátodo y el ánodo dentro de un tubo que contiene gas enrarecido, el cátodo emite un flujo de electrones, que se denominan rayos catódicos. Estos electrones pueden acelerarse a velocidades sumamente altas. La radiación del haz electrónico tiene poder de penetración limitado, no obstante la esterilización se realiza en breve tiempo de exposición (23).

Una compañía de Suecia, Brown and Boveri, lleva varios años experimentando con la aceleración de electrones en la desinfección de lodos; su proceso consiste en tres etapas:

1) pretratamiento de lodos, 2) irradiación y 3) almacenaje.

Los estudios indican que una energía mínima de 300 krad, es lo suficientemente efectiva para destruir a Escherichia coli en rangos de 10^9 a 10^8 y de 10^4 a 10^7 para Salmonella; los virus se inactivan en un 60 a 90% (17).

Electricidad

Se han investigado las corrientes eléctricas de alta y baja frecuencia como medios para destruir a los microorganismos. El paso de corriente eléctrica a través de líquidos que contengan bacterias, puede destruir a un porcentaje de éstas. La causa de la muerte puede atribuirse a:

- a) elevación de la temperatura, producida por la corriente
- b) cambios químicos provocados por la corriente, como la producción de ozono y cloro en cantidades muy pequeñas.

La aplicación de la corriente eléctrica como agente práctico para destruir microorganismos es limitada, aunque se han diseñado equipos para pasteurizar leche, jugos de frutas y desinfectar agua (23).

Beattlie y Lewis emplearon una corriente de 4,000 volts y 2 amperes, durante 4 minutos y reportaron la destrucción del 99.9 % de microorganismos en leche. Estos procedimientos se han aplicado a los lodos, pero sus resultados no son muy confiables (17).

Ondas sónicas y ultrasónicas

Los microorganismos suspendidos en un líquido sometido a la acción de ondas acústicas de intensidad suficiente, durante cierto tiempo, se destruyen debido a la ruptura de la pared y la disgregación del contenido intracelular.

La destrucción de las células se efectúa por **cavitación**; por acción de las ondas sonoras, se forman cavidades (burbujas de

gas) en el líquido intracelular. Cuando estas cavidades estallan, se originan presiones muy altas, las fluctuaciones extremas de presión debidas a la cavitación, desintegran las estructuras de la pared celular.

Los bacilos son más susceptibles que los microorganismos esféricos. Frecuencias de 200,000 a 1,500,000 cps son capaces de destruir bacterias si se exponen durante un tiempo determinado.

En la leche se ha reducido el 99% de la población microbiana si se expone por un lapso de 40 a 60 minutos. Algunos investigadores han empleado ondas de 8,800 cps y reportado la destrucción de células de Escherichia coli. El uso de las ondas sónicas para el tratamiento de los lodos se encuentra en etapa de experimentación (17).

IV MICROORGANISMOS PATÓGENOS

PRESENTES EN LOS LODOS

El estudio de las relaciones entre los organismos vivos y su ambiente se denomina ecología, término introducido por Haeckel en 1869. Una comunidad biótica incluye todos los microorganismos que viven en un medio determinado. Un ecosistema incluye la comunidad biótica, las partes inanimadas y los factores que constituyen el total del ambiente.

Como un ejemplo de ecosistema microbiológico podemos citar al lodo residual, con su comunidad biótica constituida por miles de millones de microorganismos de centenares de especies diferentes, como, bacterias, protozoarios, hongos, algas, etc.

Dado el origen y naturaleza del lodo, éste es el depositario de todo tipo de microorganismos que provienen del suelo, agua, aire, heces, etc. No todos los microorganismos que llegan al agua residual sobreviven en los lodos; en un determinado tiempo, el lodo adquiere una flora característica. Las características biológicas de más interés en el estudio de los lodos residuales son: la taxonomía y la presencia de microorganismos patógenos. En la siguiente tabla se mencionan algunos microorganismos y la cantidad de ellos encontrados en los lodos residuales (12).

Microorganismos encontrados en lodos primarios y secundarios

Microorganismos	lodo primario	lodo secundario
Coliformes totales	1.2×10^8	7.1×10^8
Coliformes fecales	2.0×10^6	8.3×10^6
Estreptococos fecales	8.9×10^5	1.7×10^6
Bacteriófagos	1.3×10^5	----
<i>Salmonella sp.</i>	4.1×10^2	8.8×10^2
<i>Shigella sp.</i>	variable	variable
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.8×10^4	1.1×10^4
Parásitos (huevo/quis)	2.1×10^2	variable
<i>Ascaris sp.</i>	7.2×10^2	1.4×10^3
<i>Trichuris trichiura</i>	1.1×10^1	1.0×10^1
<i>Trichiuris vulpis</i>	1.1×10^2	1.0×10^1
<i>Toxocara sp.</i>	2.4×10^2	2.8×10^2
<i>Hymenolepis diminuta</i>	6.0×10^0	2.0×10^1
Virus entéricos	3.9×10^2	3.2×10^2

Sludge disinfection: A review of the literature (25)

A. Enfermedades transmitidas por los lodos

La presencia de agentes patógenos en los lodos generados durante el tratamiento del agua residual, es muy importante en el estudio de éstos. Si los lodos son arrojados al drenaje o a los cuerpos receptores de agua, sin recibir tratamiento alguno, es seguro que esta acción contribuya a aumentar la incidencia de enfermedades. La siguiente tabla muestra algunos de los microorganismos patógenos y las enfermedades que causan (28).

ORGANISMO	ENFERMEDAD	RESERVORIO
Bacterias		
<i>Escherichia coli</i>	gastroenteritis	hombre y animales salvajes
<i>Salmonella</i> (1,700 tipos)	salmonelosis, fiebre tifoidea	hombre, animales domésticos y salvajes
<i>Shigella</i> (4 tipos)	shigelosis, gastroenteritis	hombre y animales domésticos
<i>Vibrio cholerae</i>	cólera	hombre
<i>Yersinia enterocolitica</i>	gastroenteritis	hombre
Protozoarios		
<i>Balantidium coli</i>	balantidiosis	hombre, cerdo
<i>Entamoeba histolytica</i>	amibiasis	hombre
<i>Giardia lamblia</i>	giardiasis	hombre y animales salvajes
Helmintos		
Nemátodos		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	ascariasis	hombre y cerdo
<i>Ancylostoma duodenale</i>	anclyostomiasis	hombre
<i>Necator americanus</i>	uncinariasis	hombre
<i>Ancylostoma braziliensis</i>	infecciones de piel	gatos
<i>Ancylostoma caninum</i>	infecciones de piel	perros
<i>Enterobius vermicularis</i>	enterobiasis	hombre
<i>Strongyloides stercoralis</i>	estrongiloidosis	hombre y perro

ORGANISMO	ENFERMEDAD	RESERVORIO
<i>Toxocara cantii</i>	infecciones viscerales	carnívoros
<i>Toxocara canis</i>	infecciones viscerales	carnívoros
<i>Trichuris trichiura</i>	tricocefalosis	hombre
Céستodos		
<i>Taenia saginata</i>	teniasis	hombre
<i>Taenia solium</i>	teniasis	hombre
<i>Hymenolepis nana</i>	himenolepiasis	hombre, rata
<i>Echinococcus granulosus</i>	hidatidosis	perro
<i>Echinococcus mililocularis</i>	enfermedad alveolar	carnívoros
Virus		
Enterovirus (67 tipos)	gastroenteritis, meningitis	hombre y animales inferiores
Rotavirus	gastroenteritis	hombre y animales domésticos
Parvovirus (2tipos)	gastroenteritis	hombre
Hepatitis A	hepatitis infecciosa	hombre y primates
Adenovirus (31 tipos)	enfermedades respiratorias, conjuntivitis	hombre

Shertzer, Richard H. (24)

B. Normas Mexicanas para la disposición de agua residual (lodos).

Dado el riesgo que presenta para la salud de las personas, el tener contacto con el lodo desechado por los tratamientos de aguas residuales, es indispensable evitar la descarga de éste a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-CRP-001-ECOL/93), clasifican a los lodos producidos en las plantas de tratamiento de agua residual como residuos peligrosos; por lo tanto está prohibida su descarga sin previo tratamiento, no sólo a los cuerpos de agua directamente sino también al drenaje municipal (Ley de Aguas Nacionales, dic. 1992).

De acuerdo con la ley : un residuo es peligroso cuando por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el medio ambiente. Los residuos considerados como peligrosos son aquellos que presentan una o más de las siguientes características: corrosivas, tóxicas, reactivas, explosivas o inflamables.

En el siguiente cuadro se presentan los límites de coliformes totales para agua residual de algunas industrias. Los datos se obtuvieron de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, promulgada en 1988 por la Secretaría de Desarrollo Social (Gaceta Ecológica No.1) y publicados en el Diario Oficial de la Federación (11).

LÍMITE DE COLIFORMES TOTALES EN ALGUNAS INDUSTRIAS				
INDUSTRIAS	No. DE COLIFORMES TOTALES *			
	lpd	li	lpd ^a	li ^a
Central termoeléctrica	1,000	1,000	10,000	20,000
Productora de azúcar	10,000	20,000	--	--
Refinación de petróleo	1,000	1,000	10,000	20,000
Fabricación de fertilizantes	1,000	1,000	10,000	20,000
Fabricación de productos plásticos	1,000	1,000	10,000	20,000
Fabricación de harinas	1,000	1,000	10,000	20,000
Cerveza y malta	10,000	20,000	--	--
Fabricación asbestos construcción	1,000	1,000	10,000	20,000
Leche y derivados	10,000	20,000	--	--
Vidrio y fibra planos	1,000	1,000	10,000	20,000
Vidrio prensado y soplado	1,000	1,000	10,000	20,000
Industria del hule	1,000	1,000	10,000	20,000
Industria del hierro y acero	1,000	1,000	10,000	20,000
Industria textil	1,000	1,000	10,000	20,000
Idustria de celulosa y papel	1,000	1,000	10,000	20,000
Industria de bebidas gaseosas	1,000	1,000	10,000	20,000
Industria acabados metálicos	1,000	1,000	10,000	20,000
Industria de laminación del cobre	1,000	1,000	10,000	20,000
Productos de aserradero	1,000	1,000	10,000	20,000
Industria de asbestos textiles	1,000	1,000	10,000	20,000
Industria de curtido de pieles	1,000	1,000	10,000	20,000
Matanza de animales	10,000	20,000	--	--
Envasado de conservas alimenticias	10,000	20,000	--	--
Industria papel y celulosa	1,000	1,000	10,000	20,000
Restaurantes u hoteles	1,000	2,000	--	--

LÍMITE DE COLIFORMES TOTALES EN ALGUNAS INDUSTRIAS				
INDUSTRIAS	NO. DE COLIFORMES TOTALES *			
	lpd	li	lpd ^a	li ^a
Industria del beneficio del café	1,000	1,000	10,000	20,000
Envasado y conserva de pescado	1,000	1,000	10,000	20,000
Harina y aceite de pescado	1,000	1,000	10,000	20,000
Agua residual de hospitales	1,000	2,000	----	---
Industria jabones y detergentes	1,000	1,000	10,000	20,000

Diario Oficial de la Federación (11)

* NMP/100 mL

lpd = límite promedio diario

li = límite instantáneo

lpd^a = límite promedio diario con aguas de servicio

li^a = límite instantáneo con aguas de servicio

C. Pruebas utilizadas para determinar la contaminación

microbiológica de los lodos

Schardinger fue el primero que en 1892 utilizó a Escherichia coli como indicador de microorganismos patógenos transmitidos por el agua. Eligió este microorganismo porque se encuentra dentro del intestino del hombre y animales. Un año después, Teobald Smith, hizo constar que " puesto que este microorganismo se encuentra en forma constante en el tracto intestinal, su presencia fuera del intestino puede considerarse de que ha existido contaminación con materia fecal del hombre o de los animales " (15).

El empleo de los coliformes como indicadores de microorganismos patógenos en el agua es una práctica vigente en la actualidad.

Las bacterias coliformes, como Escherichia coli y Enterobacter aerogenes, son bacilos cortos, Gram negativos que fermentan la lactosa con producción de gas. Escherichia coli tiene su localización primaria en el tracto intestinal del hombre y los animales, de ahí el nombre de coli, que deriva de colon; esta bacteria vive en el tracto gastrointestinal, donde no suele causar enfermedades.

Haenel, a partir de sus estudios sobre la flora intestinal del hombre, determinó que el porcentaje de coliformes es inferior a uno. Este investigador encontró como habitual, en heces de individuos adultos, cifras de 10^0 a 10^3 microorganismos por gramo. Aunque Enterobacter aerogenes puede encontrarse a veces en el tracto intestinal del hombre, este microorganismo se asocia en general con los vegetales.

Los microorganismos coliformes son buenos indicadores de la contaminación fecal del agua, ya que las enfermedades transmitidas por el agua, generalmente son de carácter gastrointestinal; su presencia indica la posibilidad de que existan agentes etiológicos productores de enfermedades.

Buttiaux y Mossel consideran que todos los microorganismos indicadores deben poseer las siguientes características:

- 1) especificidad - idealmente las bacterias seleccionadas sólo se deben encontrar en el medio intestinal.
- 2) cantidad - se hallarán en gran número en las heces, de tal forma que puedan ser detectados en altas diluciones.
- 3) resistencia - deberán ser resistentes a las condiciones ambientales extraintestinales.
- 4) identificación - aun cuando se encuentren en escasa proporción deberán ser detectados en forma fácil y completa (15).

V Perspectivas del uso de los lodos

El avance en los sistemas de tratamiento de agua residual ha incrementado la generación de lodos residuales y con ello la búsqueda de alternativas para su mejor manejo y disposición final. Aunque constituyen un recurso potencial muy grande, su aprovechamiento se ve limitado por las altas cantidades de contaminantes químicos y biológicos que contienen.

Los lodos, al ser depositados en áreas expuestas a la atmósfera o en alguna corriente de agua, propician la contaminación de suelos, mantos freáticos y acuíferos, en perjuicio de la salud pública, llegando incluso a la destrucción del ecosistema. Sin embargo, con un manejo adecuado pueden ser aprovechados para diferentes usos, encaminados principalmente a los fines agrícolas.

Uno de estos usos es el que se le da en la planta de tratamiento del ex-Lago de Texcoco; en dicha planta se ha logrado una metodología para el uso y manejo de los lodos, empleándolos como substrato en la producción de especies forestales con el fin de abatir los volúmenes extraídos de tierra de monte, lo que disminuirá la alteración de los bosques de donde se extrae.

El composteo es una alternativa en el manejo de los lodos, ya que es un proceso biológico que estabiliza los componentes orgánicos bajo condiciones aerobias controladas, para su disposición final. Existen dos problemas principales que deben

controlarse; los microorganismos patógenos y la cantidad de metales pesados.

Dado su origen, los lodos contienen un gran número de microorganismos, para su reducción significativa, la EPA en 1985 estableció los siguientes criterios (16):

- La temperatura en las compostas debe ser de 40°C durante 5 días consecutivos o temperaturas mayores de 55°C durante cuatro horas.

En términos más estrictos se recomienda 55°C durante tres días. En pilas aereadas por volteo se requiere 55°C durante 15 días, aplicando 5 volteos, uno cada 3 días.

El material que se agrega a una composta debe ser fuente de carbono para los microorganismos degradadores de la materia orgánica; debe incrementar la porosidad y el área de contacto del lodo expuesto al oxígeno atmosférico durante el composteo, además de reducir la humedad de la composta. Los materiales que se emplean son : corteza de madera, olotes o rastrojos de maíz, hojarasca, papel, cartón, cascarilla de cacahuete, desechos de madera, etc.

El lodo que se obtiene del digestor, en la planta de tratamiento de Texcoco, se conduce a un lecho de secado en donde permanece 24 horas, para que se de la sedimentación de los sólidos y proceder al drenado del exceso de agua. Realizado lo anterior, los lodos permanecen 15 días en el lecho, período en el que se remueven dos veces al día, para exponer las capas húmedas

a la radiación solar. Cuando la humedad es del 40% se efectúa la mezcla con los materiales escogidos para formar la composta, en la proporción más conveniente (3:1 lodos y material). Posteriormente se forman pilas de 1.5 x 1 m, en éstas se incrementó la temperatura a 65°C y disminuyó el olor.

Utilizando la composta como substrato se llenaron los envases y se plantaron varetas de Tamarix articulata. En general, el prendimiento de las varetas se consideró bueno, incluso sobrepasó el porcentaje obtenido normalmente en uno de los viveros que utilizó tierra de monte.

Con los resultados obtenidos se puede afirmar que la utilización de lodos residuales como substrato de vivero es **factible**, previo tratamiento y dosificación de los mismos (18).

Uso como fertilizante

Los lodos procedentes de aguas residuales domésticas se caracterizan por contener apreciables cantidades de nitrógeno y fósforo; los cuales presentan un interés especial debido al valor fertilizante que hace que puedan ser utilizados en la agricultura como fertilizante, abono, mejorador de suelo o complemento en la fertilización.

Los fertilizantes son los elementos nutritivos que se suministran a las plantas para complementar las necesidades nutricionales de su desarrollo.

Los abonos son materiales de origen biológico que se suministran al suelo por su aporte de materia orgánica y también

sirven como reserva de elementos nutritivos que se van liberando lentamente.

El valor fertilizante de los lodos está dado en función de su capacidad de mineralización: un lodo que se mineraliza lentamente producirá un humus estable. Por el contrario, un lodo cuya mineralización es rápida, libera sus elementos nutritivos sin la formación de humus. La disponibilidad del nitrógeno mineral y la rapidez de mineralización del nitrógeno orgánico constituyen los parámetros principales que proporcionan el valor fertilizante de un lodo. El nitrógeno es un elemento de gran movilidad, su importancia radica en que interviene en procesos bioquímicos y biológicos (16).

La presencia de fósforo permite dar buenos rendimientos de los cultivos, con la condición de no llegar a una sobredosis, que trae como consecuencia el bloqueo en la asimilación de hierro, cobre y zinc en los vegetales. El fósforo no se encuentra libre, sino que se combina para formar compuestos orgánicos como fosfolípidos, ácidos nucleicos, y compuestos inorgánicos. Está considerado como un elemento nutritivo mayor y su disponibilidad depende de las condiciones del suelo, ya que presenta un alto grado de inmovilización, por lo que debe de ser suministrado en los fertilizantes, ya que los vegetales lo requieren para la formación de raíces e interviene en el proceso de floración (16).

VI PARTE EXPERIMENTAL

A. Equipo, material y reactivos

Equipo

autoclave

balanza

bomba de vacío

cuenta colonias

equipo de filtración Millipore (embudo, soporte y pinzas)

estufa eléctrica para esterilizar (160-200°C)

incubadoras de 37°C y 45°C

manguera para vacío

mechero de gas

medidor de pH

membranas para filtración

Material de vidrio

cajas Petri de 60 x 15 mm

kitasato

matraz aforado de 10 mL

matraz aforado de 100 mL

matraces Erlenmeyer de 250 mL

matraces Erlenmeyer de 500 mL
matraces Erlenmeyer de 1000 mL
pipetas de 1 mL y 10 mL
probeta de 100 mL
piseta
termómetro
vasos de precipitado 250 mL

Reactivos y materiales varios

ácido rosólico
agar bacteriológico
medio de cultivo caldo M-ENDO
medio de cultivo caldo MFC
hidróxido de calcio
hidróxido de sodio
peptona de caseína
soluciones patrón de pH 7 y 10
algodón
masking tape
papel para envoltura Kraft

B. Procedimiento

Para este estudio se utilizaron lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chapultepec y de un reactor anaerobio, ubicado en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (D.E.P.F.I).

La planta de Chapultepec se localiza al poniente de la ciudad, en la segunda sección del Bosque de Chapultepec: las aguas que recibe, casi en su totalidad, son aguas residuales de tipo doméstico, que provienen de las zonas circundantes.

Fue la primera planta construida por el Departamento del Distrito Federal: su objetivo fue el de ahorrar agua potable, regando con agua tratada el bosque. Utiliza el método de lodos activados. Está constituida por dos unidades de sedimentación, con un gasto total de 160 litros por segundo (Lps).

El agua entra por gravedad al desarenador, que consta de tres canales; el agua ya desarenada pasa a dos tanques de sedimentación primaria, tipo tanque Imhoff, semicirculares, de 88 m² cada uno. Después pasa a dos tanques de aereación, de flujo helicoidal, que en conjunto tienen un volumen de 1,333m³. Esto hace un tiempo de retención de 4.6 horas.

A continuación pasa al área de sedimentación secundaria, constituida por dos tanques de flujo horizontal de 30 x 18 m. Al final de éstos, el agua ya clarificada, a razón de 1.4 Lps/m, se recibe en un tanque al cual se le adiciona hipoclorito de sodio.

La unidad 2 consta de dos sedimentadores primarios

rectangulares de 4.15 x 17.35 m, no tiene tanque Imhoff; la aereación se efectúa en dos cámaras horizontales de 30 x 3 x 3.5 m, lo que da un volumen 325 m³ y significa un tiempo de retención de 4.5 horas. La sedimentación secundaria se produce en dos tanques de 4.5 x 2.30 m, con una descarga de agua clarificada de 1.2 Lps/m (9).

El reactor para digestión anaerobia se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la D.E.P.F.I. consiste en un recipiente de acrílico de 20 L de capacidad, acondicionado con tres válvulas, para su alimentación, purga y salida de gases. Este es alimentado cada dos días con lodos de la planta de Chapultepec y tiene un tiempo de retención de 7 días. Un reactor anaerobio tiene la capacidad de efectuar la digestión del lodo en ausencia de oxígeno (19).

Al lodo proveniente de la planta de tratamiento se le llamó muestra de la planta y al que procede del reactor anaerobio, muestra del reactor.

LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE CHAPULTEPEC

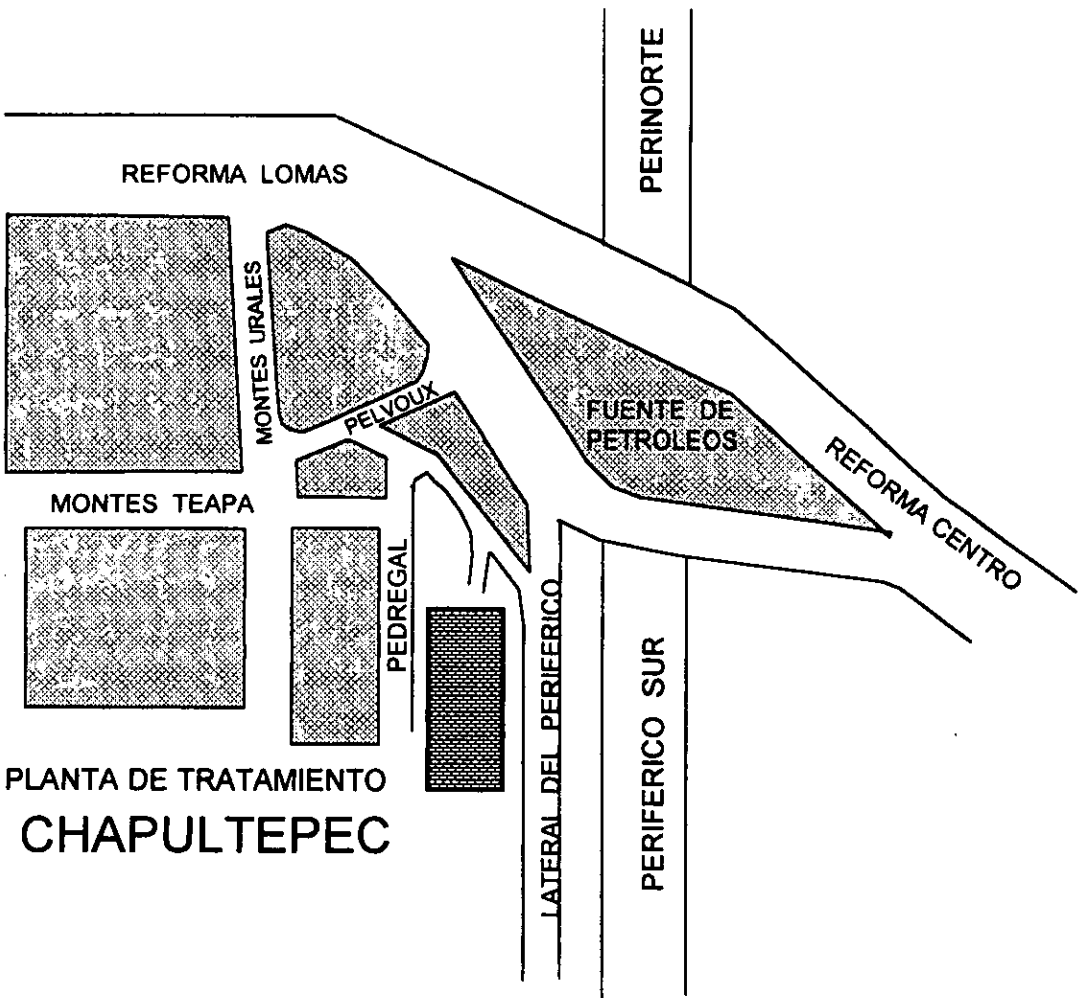
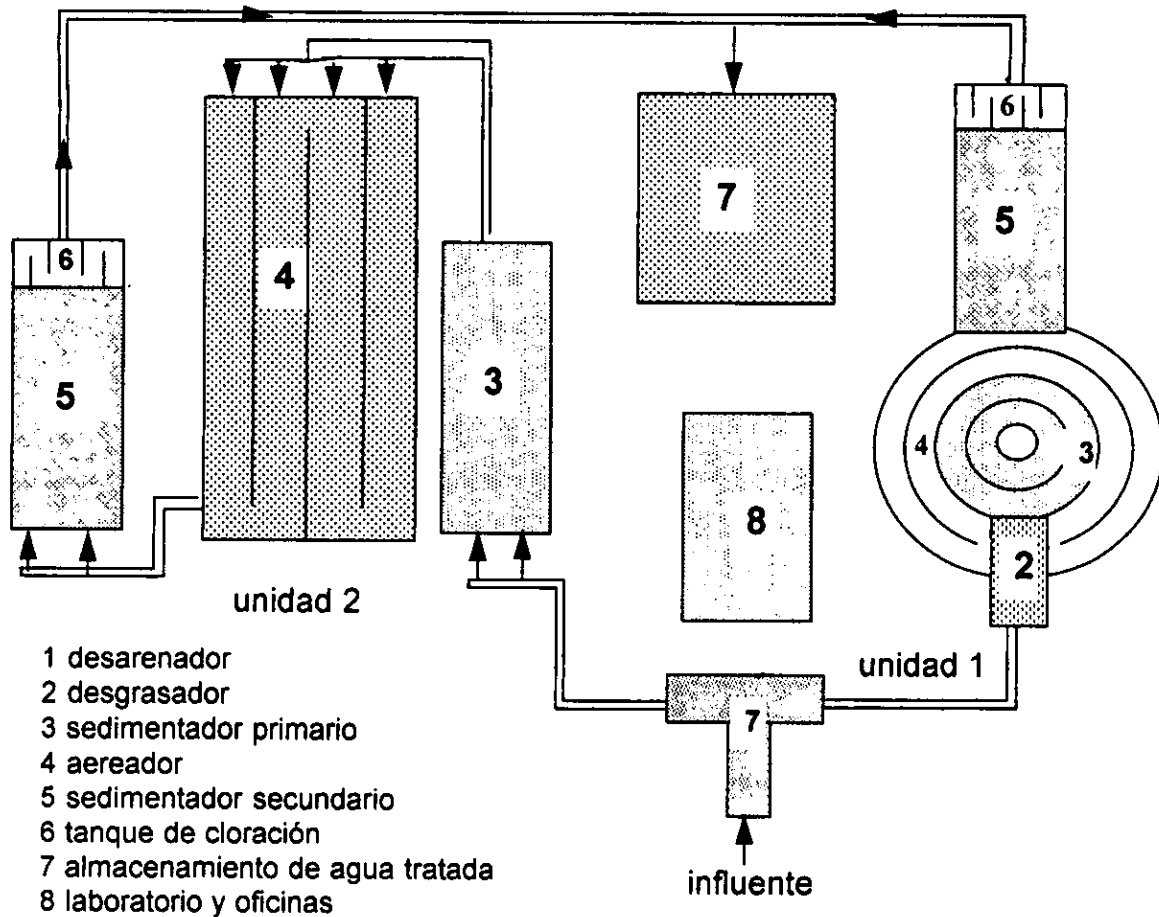
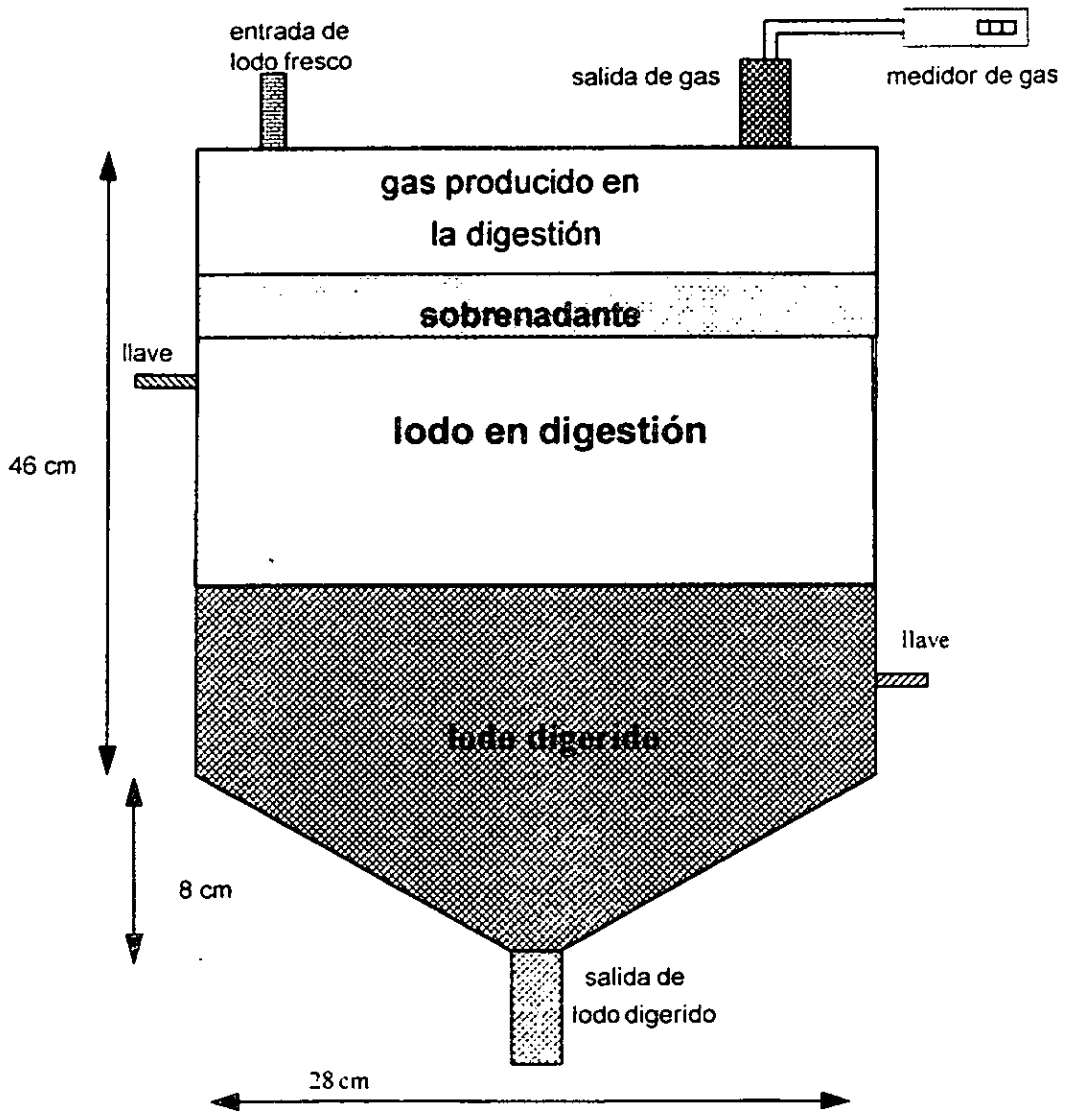


DIAGRAMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA RESIDUAL "CHAPULTEPEC"



REACTOR DE DIGESTIÓN ANAEROBIA



C. Desarrollo experimental

A las muestras de lodo, tanto las de planta como las del reactor, se les determinó la cantidad inicial de coliformes totales y coliformes fecales, antes de someterlas a los tratamientos de desinfección, los cuales son:

- 1) tratamiento químico, con $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- 2) tratamiento térmico, con calor

Una vez efectuados los tratamientos, se les evaluó la cantidad de coliformes totales y coliformes fecales sobrevivientes, para obtener el porcentaje de sobrevivencia y así poder comparar ambos métodos de tratamientos.

Tratamiento con $\text{Ca}(\text{OH})_2$

El grado de acidez o alcalinidad que pueden tolerar los microorganismos es limitado; las desviaciones extremas de pH conducen a la suspensión del metabolismo y, por lo tanto, a la muerte de los mismos.

La estabilización química de lodos provenientes de aguas residuales mediante el tratamiento con cal, es una buena alternativa en los procesos biológicos. Las formas comerciales disponibles de la cal son la cal viva u óxido de calcio, CaO , y la cal hidratada o hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

La acción desinfectante de los álcalis depende de la disociación y concentración de los iones OH^- resultante: sin embargo, existe un factor adicional, el ión metálico del álcali puede ser tóxico y contribuir al efecto del ión OH^- .

La desinfección con Ca(OH)_2 , consiste en elevar el pH del lodo hasta 12 durante un tiempo de dos horas, suficiente para crear un medio desfavorable para la actividad biológica. A pesar de que la química del proceso aún no se ha estudiado suficientemente, se sabe que durante ésta se llevan a cabo algunas reacciones de saponificación, neutralización de ácidos e hidrólisis de moléculas complejas.

A 100 mL de cada muestra de lodo, se le agregó Ca(OH)_2 , al 30% en suficiente cantidad para obtener un pH de 12, controlándolo así durante dos horas. Transcurrido ese tiempo se realizaron las pruebas para cuantificar la presencia de coliformes totales y coliformes fecales, mediante la técnica de filtro membrana.

Tratamiento con calor

Las actividades metabólicas de un microorganismo son el resultado de reacciones químicas y como el desarrollo de estas reacciones está condicionado por la temperatura, los procesos vitales también se encuentran influenciados por ella.

En los procesos de destrucción de los microorganismos, existe una notable diferencia entre el calor húmedo y el calor seco. El calor húmedo, en forma de vapor saturado, es el procedimiento más efectivo para eliminarlos, ya que ofrece una rápida calefacción, penetración y humedad abundante, lo que favorece la coagulación de las proteínas, que es la causa principal de la destrucción de los microorganismos.

A 100 mL de cada muestra de lodo, se le sometió a una temperatura de 100 °C durante 10 minutos, en el autoclave con la válvula abierta (vapor fluyente).

Transcurrido ese tiempo se realizaron las pruebas para cuantificar la presencia de coliformes totales y coliformes fecales, mediante la técnica de filtro membrana.

Procedimiento para efectuar las diluciones y la técnica de filtro membrana.

Las muestras de lodo se diluyen de la siguiente manera:

- a) tomar 10 mL de la muestra que se aforan a 100 mL con agua peptonada estéril (dilución 1:10).
- b) tomar 10 mL de la muestra anterior que se aforan a 100 mL con agua peptonada estéril (dilución 1:100).

Continuar así sucesivamente, hasta las diluciones requeridas, que en nuestro caso eran entre 10^5 y 10^7 .

Para efectuar la técnica de filtro membrana, se requiere que el equipo se encuentre en condiciones de esterilidad (embudo, soporte y pinzas). Se instala el soporte en el kitasato, se coloca una membrana sobre el soporte, con la ayuda de pinzas estériles; se pone el embudo sobre ella, se sujeta con pinzas y se le adicionan 100 mL de la muestra a analizar. Con la ayuda de la bomba de vacío se filtra todo el líquido; se quita el embudo y la membrana se coloca cuidadosamente sobre el medio apropiado (M-ENDO o MFC). Todo lo anterior se hace bajo condiciones estériles: cada muestra se analiza por duplicado.

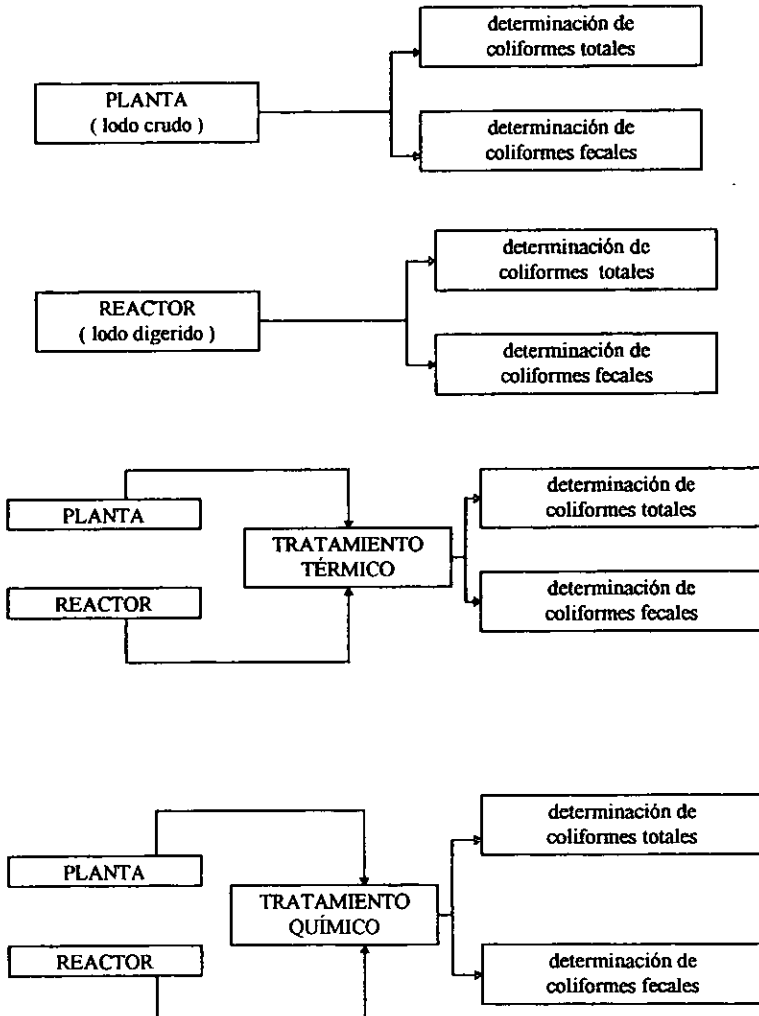
El medio M-ENDO se utiliza para determinar los coliformes totales, se incuba a 35°C durante 24 horas.

Se consideran miembros del grupo coliforme todos los microorganismos que producen colonias rojas con brillo metálico tras 24 horas de incubación a 35°C en un medio de tipo ENDO. El brillo puede cubrir la totalidad de la colonia o aparecer únicamente en la zona central o en la periferia.

El medio MFC es para el crecimiento de coliformes fecales, se incuba a 44.5 ± 0.2°C, en un baño de agua, durante 24 horas. Se cuentan las colonias de color azul.

El número de colonias encontrado se multiplica por el inverso de la dilución empleada y se informa como el número de unidades formadoras de colonias por 100 mL (UFC/100 mL) (20).

DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO



RESULTADOS

El estudio se realizó dos veces por semana, todas las determinaciones de coliformes totales y coliformes fecales se efectuaron por duplicado. Los resultados obtenidos se presentan en forma de tablas en el **anexo 1**; se observa que en cada tabla se tienen las series de **muestras A, B y promedio**. El promedio se obtuvo de las muestras A y B, para tener una serie de datos más precisos, dicho promedio es con el que se trabajó posteriormente.

El número de colonias obtenidas en cada caja se multiplicó por el inverso de la dilución empleada, obteniéndose el número total de microorganismos, el cual se expresa como unidades formadoras de colonias por 100 mL, **UFC/100 mL**.

En la **tabla 1** se presentan los resultados de la cuantificación para el lodo de la **planta** (lodo crudo) de los **coliformes totales** y de sus **tratamientos térmico y químico**. En esta tabla, y en las demás, también se incluyen los logaritmos de cada uno de los análisis; esto con el fin de poder representarlos en gráficas, ya que con los valores originales las gráficas serían poco comprensibles. Ver gráfica 1.

La **tabla 2** muestra los resultados de los **coliformes fecales**, sus **tratamientos térmico y químico** del lodo de la **planta** (lodo crudo) y los logaritmos de cada uno de ellos. Ver gráfica 2.

En la **tabla 3** se presentan los resultados de la cuantificación de los **coliformes totales** para el lodo del reactor (lodo digerido) y de sus **tratamientos térmico y químico**, así como los logaritmos de cada uno de estos análisis. Ver gráfica 3.

La **tabla 4** indica los resultados de los **coliformes fecales** y de sus **tratamientos térmico y químico** en el lodo del reactor (lodo digerido), también los logaritmos de cada uno de ellos. Ver gráfica 4.

PORCENTAJE DE SUPERVIVIENTES

En la **tabla 5** se presenta el **porcentaje de supervivientes** de los **coliformes totales** y **fecales** después de los tratamientos **térmico y químico** en el lodo proveniente de la planta. Ver gráficas 5 y 6.

La **tabla 6** muestra el porcentaje de supervivientes después de los tratamientos **térmico y químico** de los **coliformes totales** y **fecales** en el lodo procedente del reactor. Ver gráficas 7 y 8.

REMOCIÓN

La **tabla 7** presenta los resultados de la **remoción** de los **coliformes totales** y **fecales** en el reactor anaerobio, con respecto al lodo de la planta. Ver gráficas 9 y 10.

**ESTA TESTS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

TABLA 1

COLIFORMES TOTALES DE LA PLANTA

No. de muestra	COLIFORMES TOTALES UFC/100mL	TRACDM. TÉRMICO UFC/100mL	TRACDM. QUÍMICO UFC/100mL	LOG COLIFORMES TOTALES	LOG TRACDM. TÉRMICO	LOG TRACDM. QUÍMICO
1	1.500E+06	2,000	3,750	6.176	3.301	3.574
2	6.350E+08	0	3,000	8.803	0.000	3.477
3	2.530E+09	10,000	3,000	9.403	4.000	3.477
4	5.450E+08	42,500	7,000	8.736	4.628	3.845
5	3.450E+08	66,000	14,000	8.538	4.820	4.146
6	5.800E+08	17,000	15,000	8.763	4.230	4.176
7	4.500E+08	5,500	2,000	8.653	3.740	3.301
8	1.040E+09	127,500	90,000	9.017	5.106	4.954
9	1.000E+08	5,000	1,000	8.000	3.699	3.000
10	1.000E+07	1,000	2,000	7.000	3.000	3.301
11	3.250E+08	2,000	14,000	8.512	3.301	4.146
12	3.650E+08	1,000	4,000	8.562	3.000	3.602
13	8.500E+08	0	4,000	8.929	0.000	3.602
14	6.300E+08	0	0	8.799	0.000	0.000
15	7.000E+08	300,000	70,000	8.845	5.477	4.845
16	4.600E+08	11,000	6,000	8.663	4.041	3.778
17	2.300E+08	0	24,000	8.362	0.000	4.380
18	6.000E+07	4,000	2,000	7.778	3.602	3.301
19	1.900E+08	220,000	94,000	8.279	5.342	4.973
20	2.500E+08	3,500	84,000	8.398	3.544	4.924
21	1.000E+08	1,000	38,500	8.000	3.000	4.585
22	1.000E+08	0	186,000	8.000	0.000	5.270
23	5.000E+07	6,500	80,000	7.699	3.813	4.903
24	1.250E+08	2,000	87,500	8.097	3.301	4.942
25	3.300E+08	6,500	226,000	8.519	3.813	5.354
26	1.700E+08	12,000	9,000	8.230	4.079	3.954
27	1.700E+09	8,000	19,000	9.230	3.903	4.279
28	3.400E+08	15,000	24,000	8.531	4.176	4.380
29	2.100E+08	39,000	118,000	8.322	4.591	5.072
30	8.200E+08	210,000	31,000	8.914	5.322	4.491

GRÁFICA 1

COLIFORMES TOTALES EN PLANTA tratamientos térmico y químico

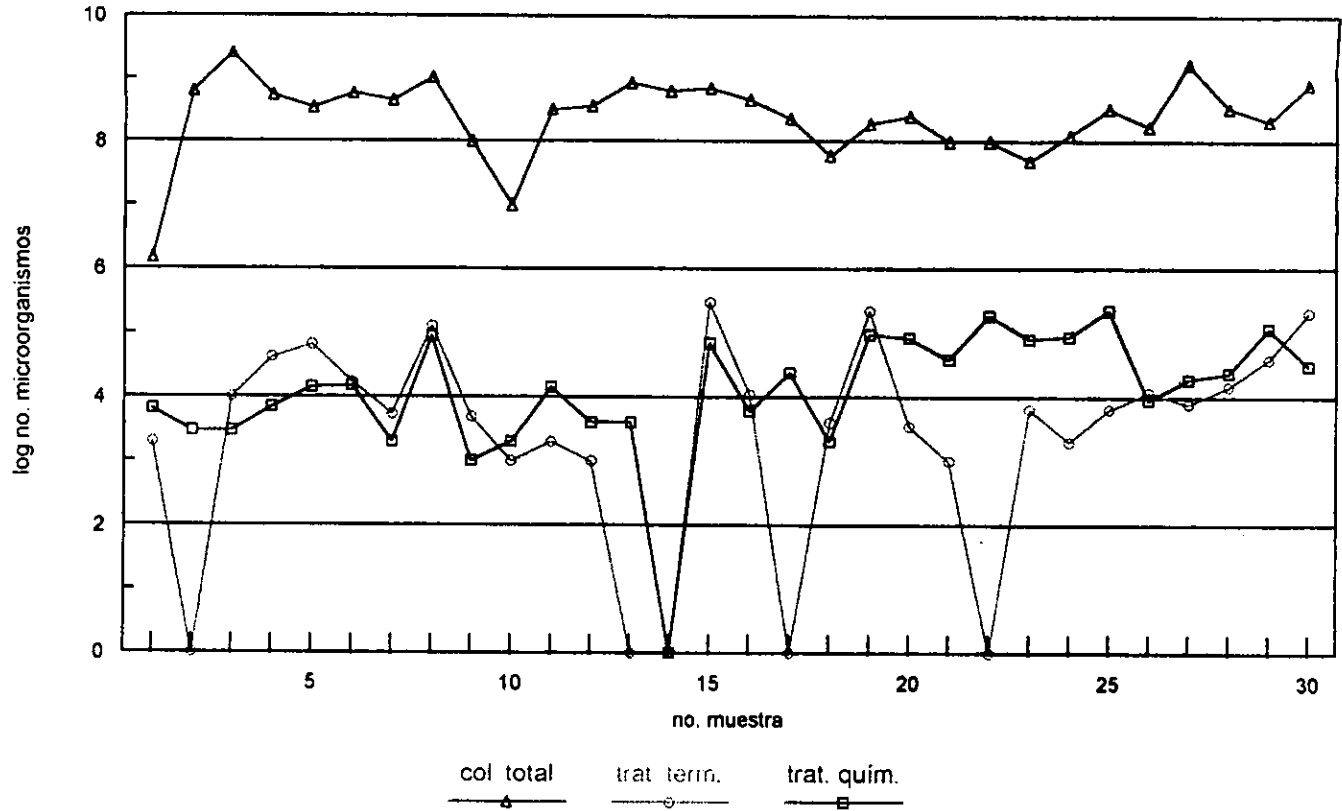


TABLA 2

COLIFORMES FECALES DE LA PLANTA

No. de muestra	COLIFORMES FECALIS UFC/100mL	TRACDM. TÉRMICO UFC/100mL	TRACDM. QUÍMICO UFC/100mL	LOG COLIFORMES FECALIS	LOG TRACDM. TÉRMICO	LOG TRACDM. QUÍMICO
1	1.000E+06	1,000	2,000	6.000	3.000	3.301
2	3.250E+08	35,000	0	8.512	4.544	0.000
3	2.100E+08	0	1,000	8.322	0.000	3.000
4	3.300E+08	79,000	9,000	8.519	4.898	3.954
5	1.600E+08	16,500	8,500	8.204	4.217	3.929
6	3.200E+08	7,000	4,000	8.505	3.845	3.602
7	1.500E+08	9,000	4,000	8.176	3.954	3.602
8	4.050E+08	99,500	57,500	8.607	4.998	4.760
9	1.000E+07	2,000	2,000	6.000	3.301	3.301
10	1.000E+06	3,000	2,000	6.000	3.477	3.301
11	1.000E+08	1,000	6,500	8.000	3.000	3.813
12	9.000E+07	0	2,000	7.954	0.000	3.301
13	2.700E+08	0	2,000	8.431	0.000	3.301
14	4.600E+08	0	21,000	8.663	0.000	4.322
15	4.900E+08	350,000	39,000	8.690	5.544	4.591
16	1.200E+08	6,000	1,000	8.079	3.778	3.000
17	6.000E+07	0	17,000	7.778	0.000	4.230
18	2.000E+07	0	1,000	7.301	0.000	3.000
19	1.300E+08	110,000	42,000	8.114	5.041	4.623
20	2.000E+07	20,000	62,500	7.301	4.301	4.796
21	1.500E+07	0	31,000	7.176	0.000	4.491
22	8.000E+07	1,000	73,000	7.903	3.000	4.863
23	3.000E+07	1,000	17,500	7.477	3.000	4.243
24	7.000E+07	0	21,000	7.845	0.000	4.322
25	2.350E+08	3,000	146,000	8.371	3.477	5.164
26	4.000E+07	9,000	6,000	7.602	3.954	3.778
27	1.110E+09	5,000	7,000	9.045	3.699	3.845
28	1.200E+08	13,000	15,000	8.079	4.114	4.176
29	4.000E+07	10,000	76,000	7.602	4.000	4.881
30	4.000E+08	123,000	16,000	8.602	5.090	4.204

GRÁFICA 2

COLIFORMES FECALES EN PLANTA tratamientos térmico y químico

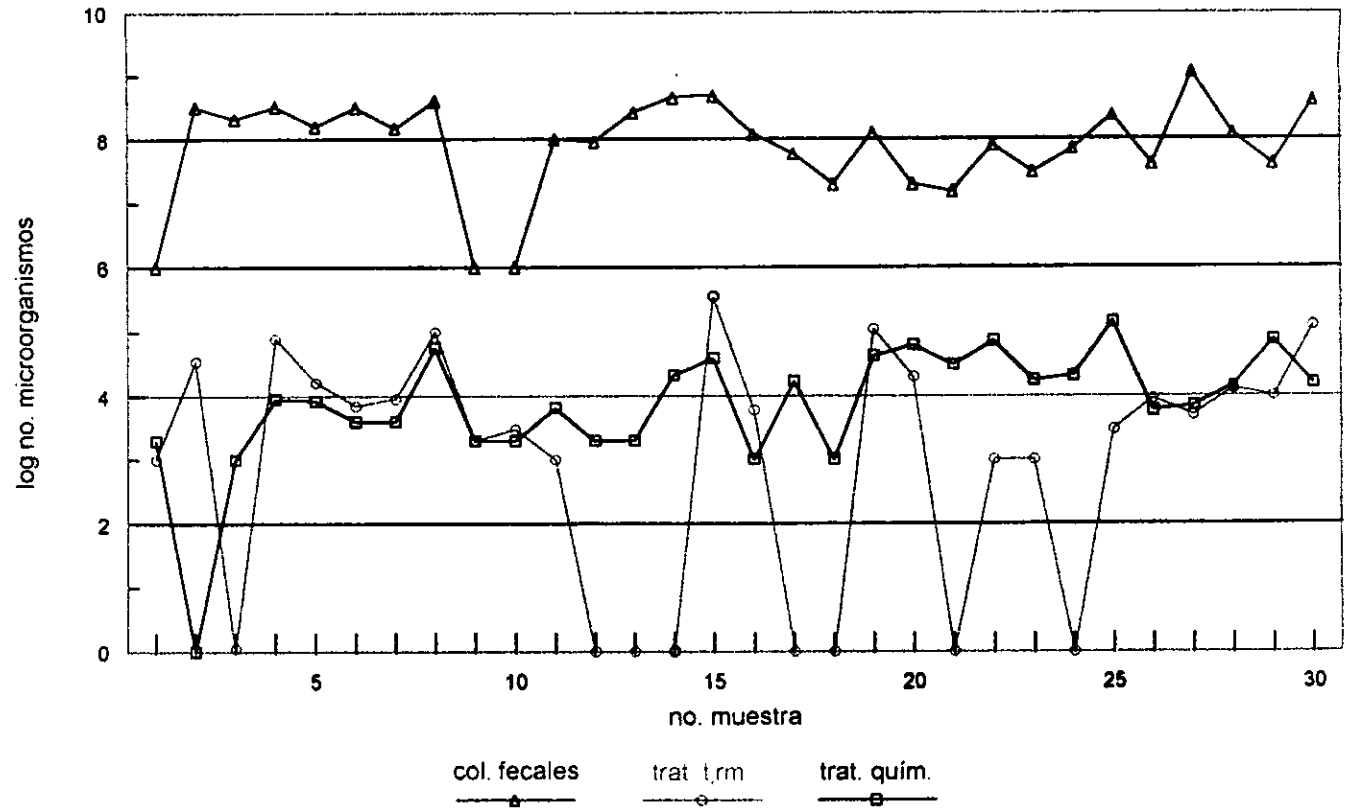


TABLA 3

COLIFORMES TOTALES DEL REACTOR

No. de muestra	COLIFORMES TOTALES UFC/100mL	TERCER. TÉRMINO UFC/100mL	TERCER. QUÍMICO UFC/100mL	LOG COLIFORMES TOTALES	LOG TERCER. TÉRMINO	LOG TERCER. QUÍMICO
1	2.600E+07	0	5,000	7.415	0.000	3.699
2	2.250E+07	36,000	0	7.352	3.556	0.000
3	1.390E+09	0	0	9.143	0.000	0.000
4	1.500E+08	0	0	8.176	0.000	0.000
5	2.400E+08	27,000	2,500	8.380	4.431	3.398
6	3.300E+08	39,000	1,000	8.519	4.591	3.000
7	6.600E+08	1,500	21,500	8.820	3.176	4.332
8	5.050E+08	18,000	7,000	8.703	4.255	3.845
9	4.000E+07	3,000	1,000	7.602	3.477	3.000
10	1.000E+07	2,000	3,000	7.000	3.301	3.477
11	5.500E+07	0	1,000	7.740	0.000	3.000
12	6.400E+08	1,000	3,000	8.806	3.000	3.477
13	1.370E+09	1,000	2,000	9.137	3.000	3.301
14	8.000E+07	0	21,000	7.903	0.000	4.322
15	6.000E+07	54,000	11,000	7.778	4.732	4.041
16	1.000E+07	1,000	0	7.000	3.000	0.000
17	1.400E+08	0	6,000	8.146	0.000	3.778
18	3.000E+07	2,000	2,000	7.477	3.301	3.301
19	3.000E+07	24,000	1,000	7.477	4.380	3.000
20	1.050E+08	7,000	0	8.021	3.845	0.000
21	4.500E+07	1,000	3,000	7.653	3.000	3.477
22	3.000E+07	0	5,000	7.477	0.000	3.699
23	2.000E+07	9,500	23,500	7.301	3.978	4.371
24	2.000E+07	0	4,000	7.301	0.000	3.602
25	1.050E+07	1,500	5,000	7.021	3.176	3.699
26	4.000E+07	6,000	14,000	7.602	3.778	4.146
27	9.000E+07	6,000	14,000	7.954	3.778	4.146
28	1.000E+08	50,000	7,000	8.000	4.699	3.845
29	7.400E+08	30,000	26,000	8.869	4.477	4.415
30	8.000E+07	75,000	17,000	7.903	4.875	4.230

GRÁFICA 3

COLIFORMES TOTALES EN REACTOR tratamientos térmico y químico

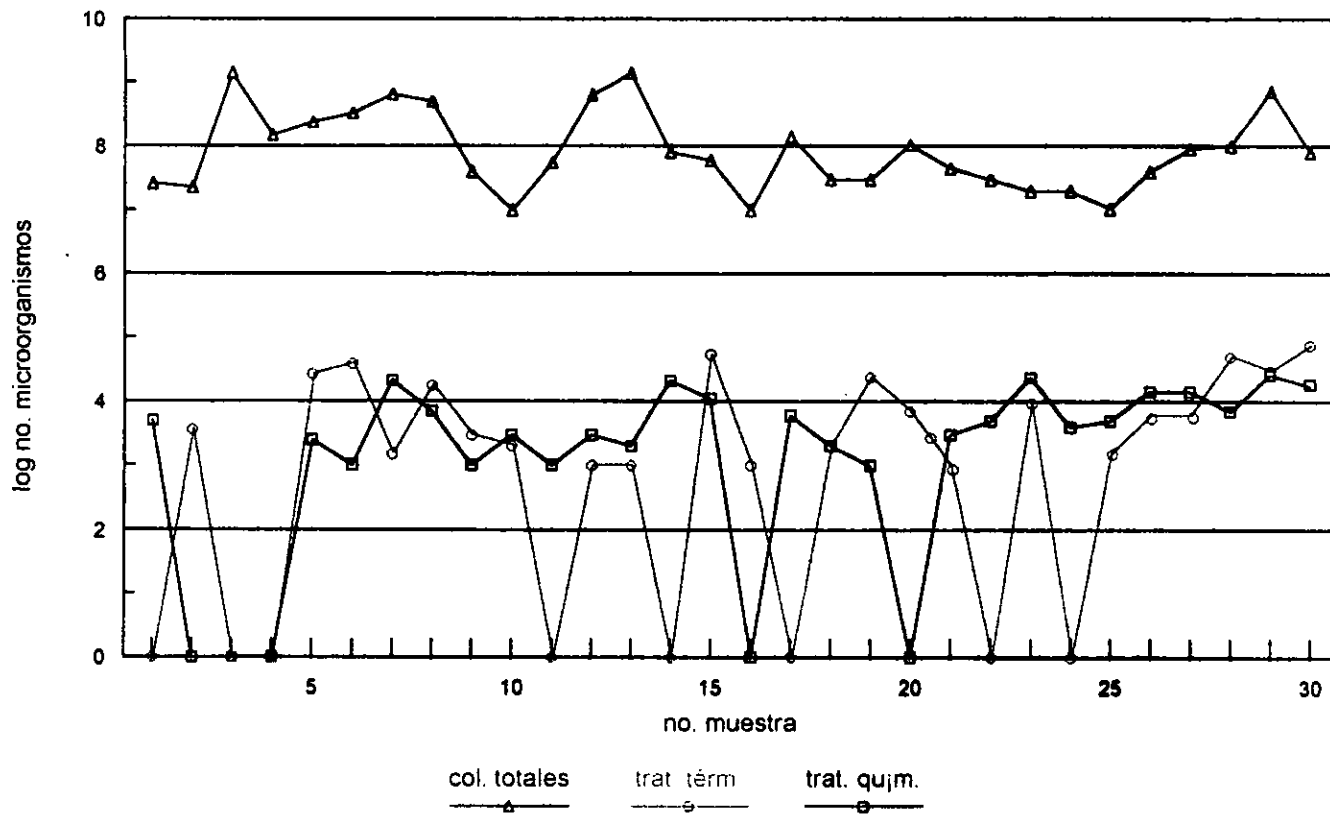


Tabla 4

COLIFORMES FECALES DEL REACTOR

No. de muestra	COLIFORMES FECALIS UFC/100mL	TRACDM. TÉRMICO UFC/100mL	TRACDM. GÉNICO UFC/100mL	LOG COLIFORMES FECALIS	LOG TRACDM. TÉRMICO	LOG TRACDM. GÉNICO
1	1.550E+07	0	7,500	7.190	0.000	3.875
2	3.500E+06	1,000	0	6.544	3.000	0.000
3	1.100E+08	62,000	1,000	8.041	4.792	3.000
4	4.000E+07	67,500	0	7.602	4.829	0.000
5	6.000E+07	17,500	1,000	7.778	4.243	3.000
6	2.500E+06	0	0	6.398	0.000	0.000
7	4.800E+08	1,500	5,500	8.681	3.176	3.740
8	2.850E+08	11,500	5,500	8.455	4.061	3.740
9	4.000E+05	0	0	5.602	0.000	0.000
10	2.000E+05	0	0	5.301	0.000	0.000
11	2.500E+07	0	1,500	7.398	0.000	3.176
12	7.500E+07	0	1,000	7.875	0.000	3.000
13	7.700E+08	0	22,000	8.886	0.000	4.342
14	6.000E+07	0	0	7.778	0.000	0.000
15	2.000E+07	44,000	5,000	7.301	4.643	3.699
16	1.000E+07	0	0	7.000	0.000	0.000
17	4.000E+07	0	3,000	7.602	0.000	3.477
18	2.000E+07	2,000	1,000	7.301	3.301	3.000
19	2.000E+06	9,000	0	6.301	3.954	0.000
20	6.500E+07	3,000	2,500	7.813	3.477	3.398
21	1.000E+07	0	4,000	7.000	0.000	3.602
22	1.000E+07	0	0	7.000	0.000	0.000
23	1.000E+07	0	7,000	7.000	0.000	3.845
24	3.000E+06	0	2,000	6.477	0.000	3.301
25	1.500E+06	1,000	1,000	6.176	3.000	3.000
26	3.000E+07	0	3,000	7.477	0.000	3.477
27	7.000E+07	6,000	3,000	7.845	3.778	3.477
28	8.000E+07	38,000	1,000	7.903	4.580	3.000
29	5.000E+07	10,000	16,000	7.699	4.000	4.204
30	4.000E+07	153,000	25,000	7.602	5.185	4.398

GRÁFICA 4

COLIFORMES FECALES EN REACTOR tratamientos térmico y químico

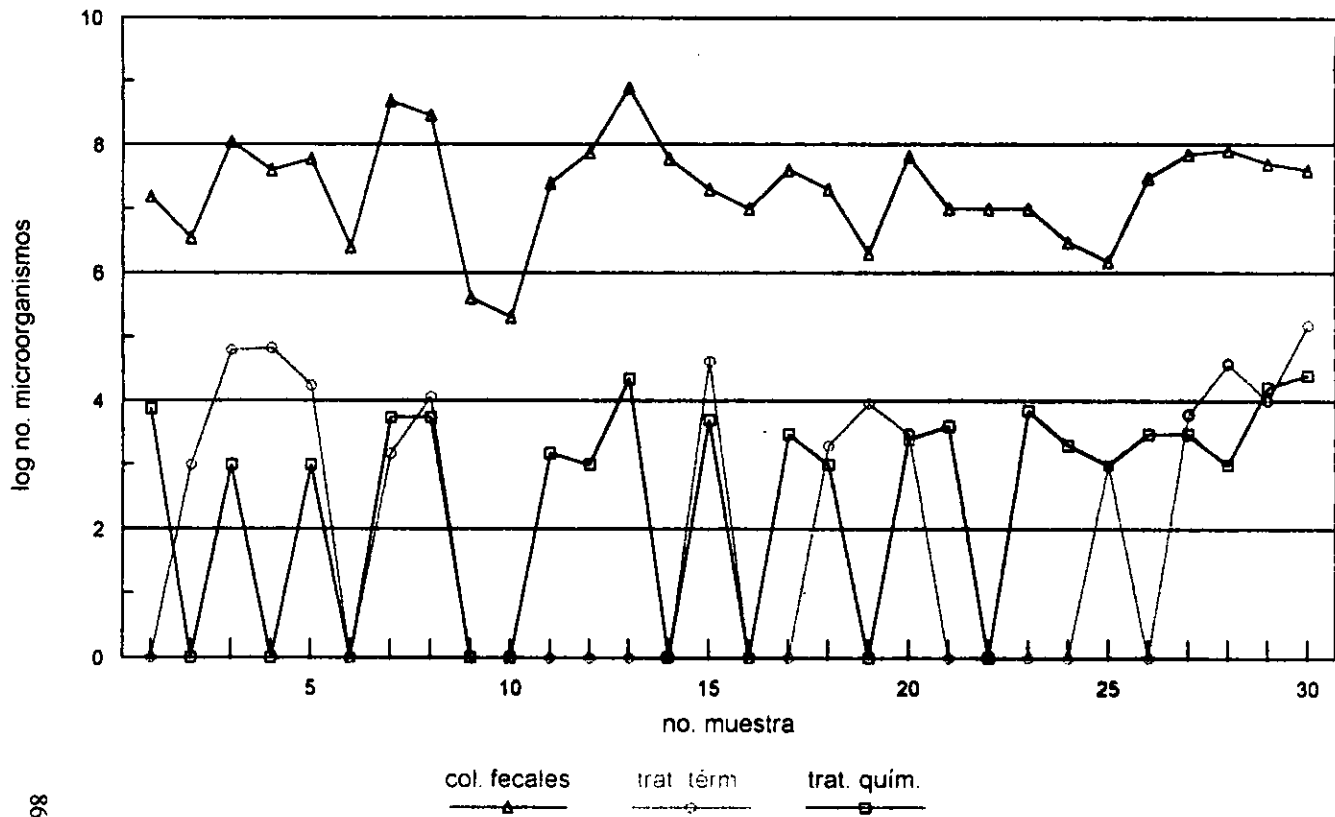
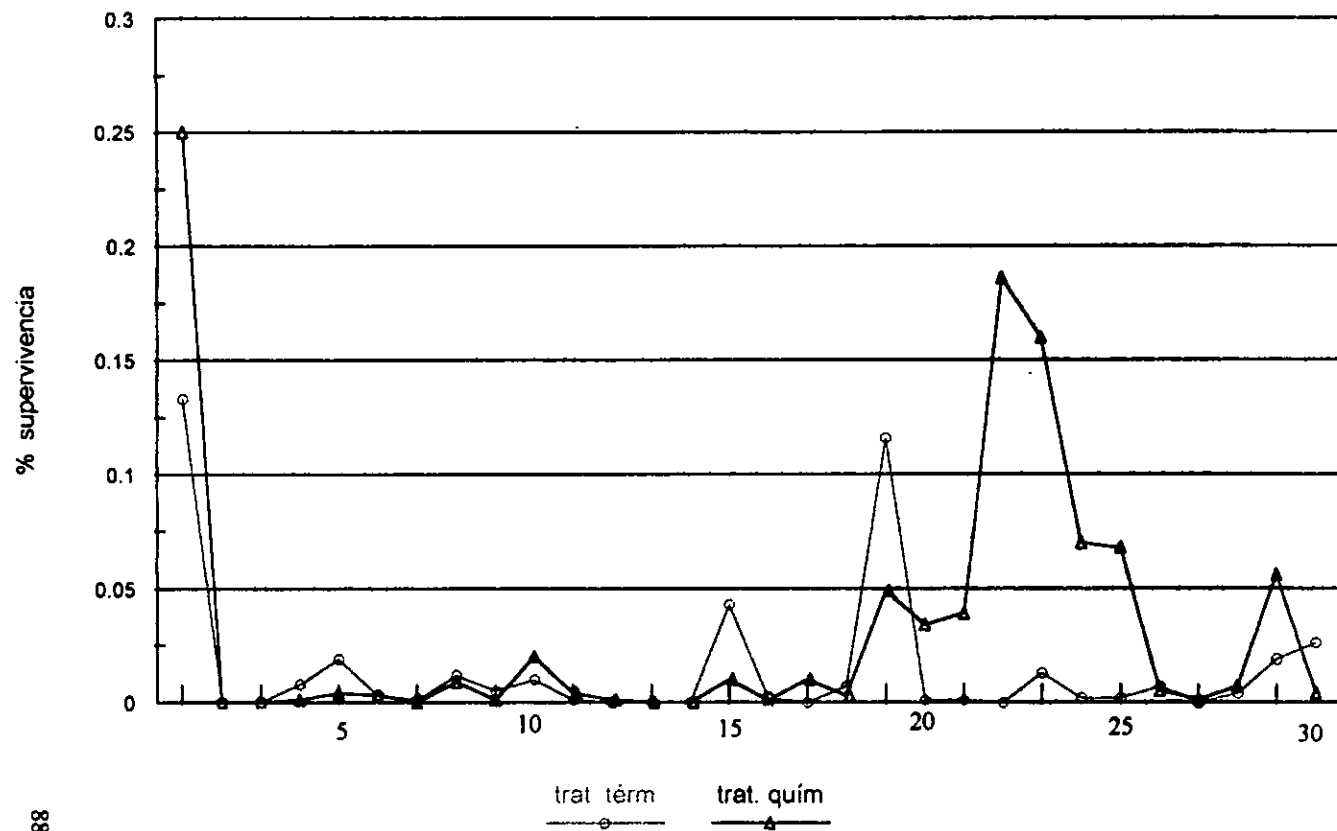


TABLA 5

**PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES TOTALES
Y FECALES EN LOS TRATAMIENTOS TÉRMICO Y
QUÍMICO EN LODO DE LA PLANTA**

No.de muestra	COLIFORMES TOTALES % SUPERVIVENCIA		COLIFORMES FECALES % SUPERVIVENCIA	
	TÉRMICO	QUÍMICO	TÉRMICO	QUÍMICO
1	0.133	0.250	0.100	0.200
2	0.000	0.000	0.011	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.008	0.001	0.024	0.003
5	0.019	0.004	0.010	0.005
6	0.003	0.003	0.002	0.001
7	0.001	0.000	0.006	0.003
8	0.012	0.009	0.025	0.014
9	0.005	0.001	0.020	0.020
10	0.010	0.020	0.300	0.200
11	0.001	0.004	0.001	0.007
12	0.000	0.001	0.000	0.002
13	0.000	0.000	0.000	0.001
14	0.000	0.000	0.000	0.005
15	0.043	0.010	0.071	0.008
16	0.002	0.001	0.005	0.001
17	0.000	0.010	0.000	0.028
18	0.007	0.003	0.000	0.005
19	0.116	0.049	0.085	0.032
20	0.001	0.034	0.100	0.313
21	0.001	0.039	0.000	0.207
22	0.000	0.186	0.001	0.091
23	0.013	0.160	0.003	0.058
24	0.002	0.070	0.000	0.030
25	0.002	0.068	0.001	0.062
26	0.007	0.005	0.023	0.015
27	0.000	0.001	0.000	0.001
28	0.004	0.007	0.011	0.013
29	0.019	0.056	0.025	0.190
30	0.026	0.004	0.031	0.004

% SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES TOTALES EN PLANTA tratamientos térmico y químico



GRÁFICA 6

% SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES FECALES EN PLANTA tratamientos térmico y químico

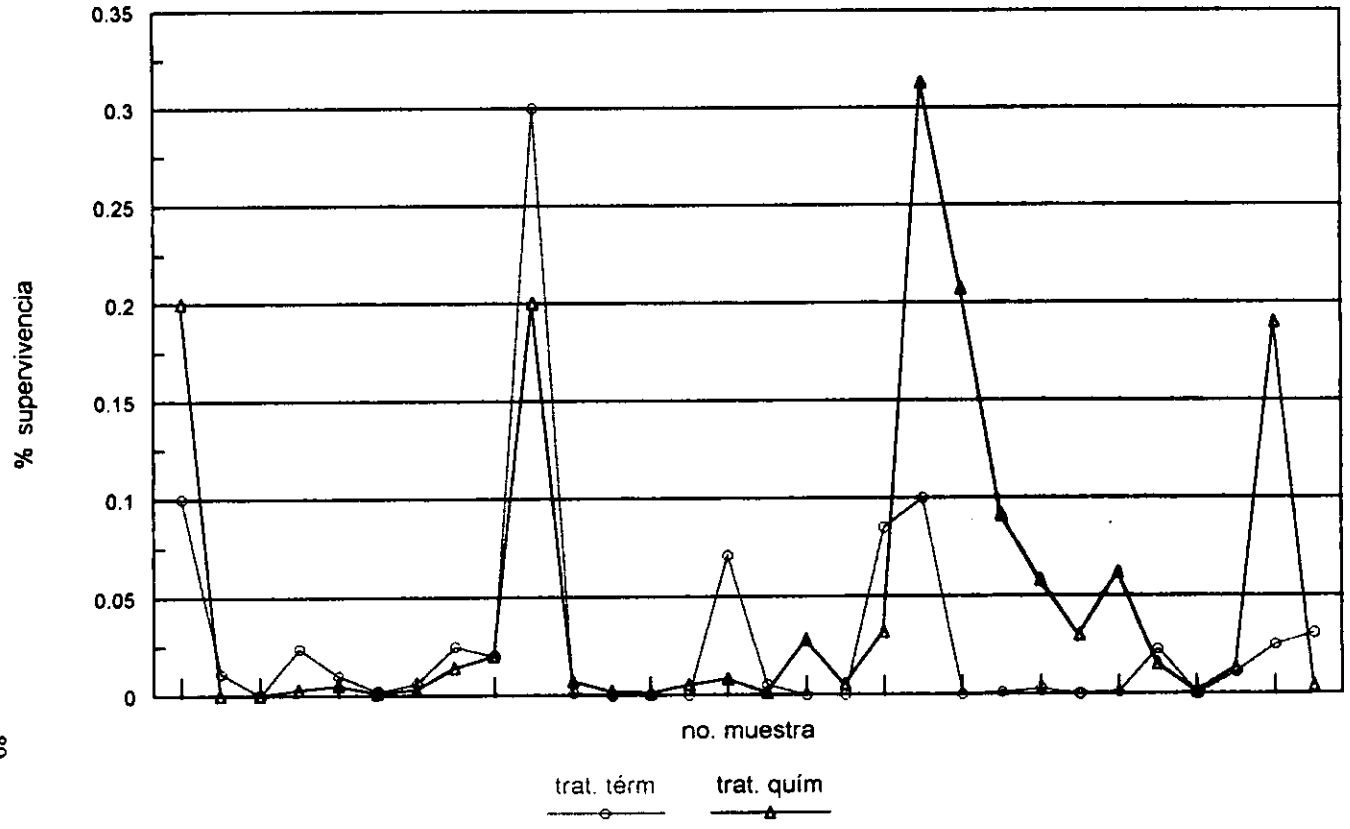


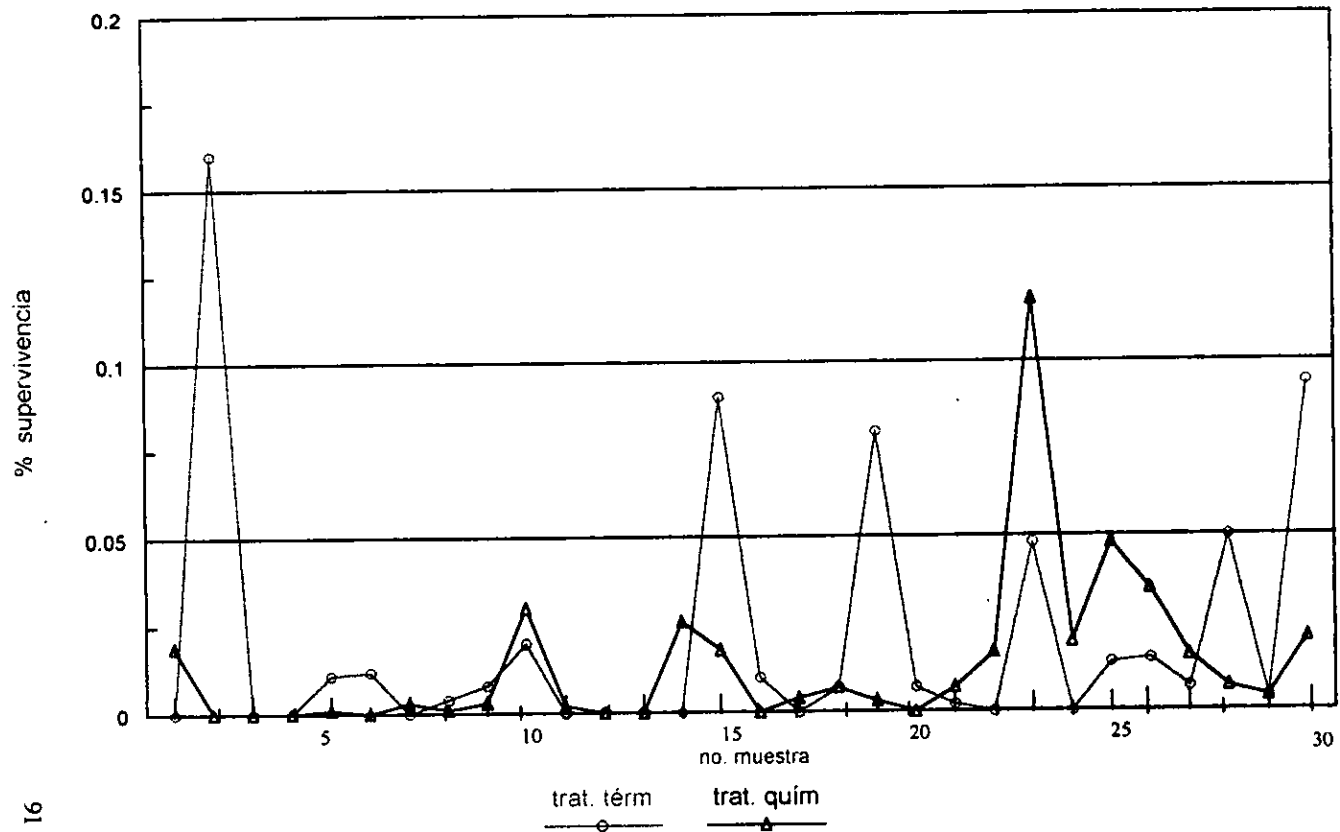
TABLA 6

**PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES TOTALES
Y FECALES EN LOS TRATAMIENTOS TÉRMICO Y
QUÍMICO EN LODO DEL REACTOR**

No. de muestra	COLIFORMES TOTALES % SUPERVIVENCIA		COLIFORMES FECALES % SUPERVIVENCIA	
	TÉRMICO	QUÍMICO	TÉRMICO	QUÍMICO
1	0.000	0.019	0.000	0.048
2	0.160	0.000	0.029	0.000
3	0.000	0.000	0.056	0.001
4	0.000	0.000	0.169	0.000
5	0.011	0.001	0.029	0.002
6	0.012	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.003	0.000	0.001
8	0.004	0.001	0.004	0.002
9	0.008	0.003	0.000	0.000
10	0.020	0.030	0.000	0.000
11	0.000	0.002	0.000	0.006
12	0.000	0.000	0.000	0.001
13	0.000	0.000	0.000	0.003
14	0.000	0.026	0.000	0.000
15	0.090	0.018	0.220	0.025
16	0.010	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.004	0.000	0.008
18	0.007	0.007	0.010	0.005
19	0.080	0.003	0.450	0.000
20	0.007	0.000	0.005	0.004
21	0.002	0.007	0.000	0.040
22	0.000	0.017	0.000	0.000
23	0.048	0.118	0.000	0.070
24	0.000	0.020	0.000	0.067
25	0.014	0.048	0.067	0.067
26	0.015	0.035	0.000	0.010
27	0.007	0.016	0.009	0.004
28	0.050	0.007	0.048	0.001
29	0.004	0.004	0.020	0.032
30	0.094	0.021	0.383	0.063

GRÁFICA 7

% SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES TOTALES EN REACTOR tratamientos térmico y químico



GRÁFICA 8

% SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES FECALES EN REACTOR tratamientos térmico y químico

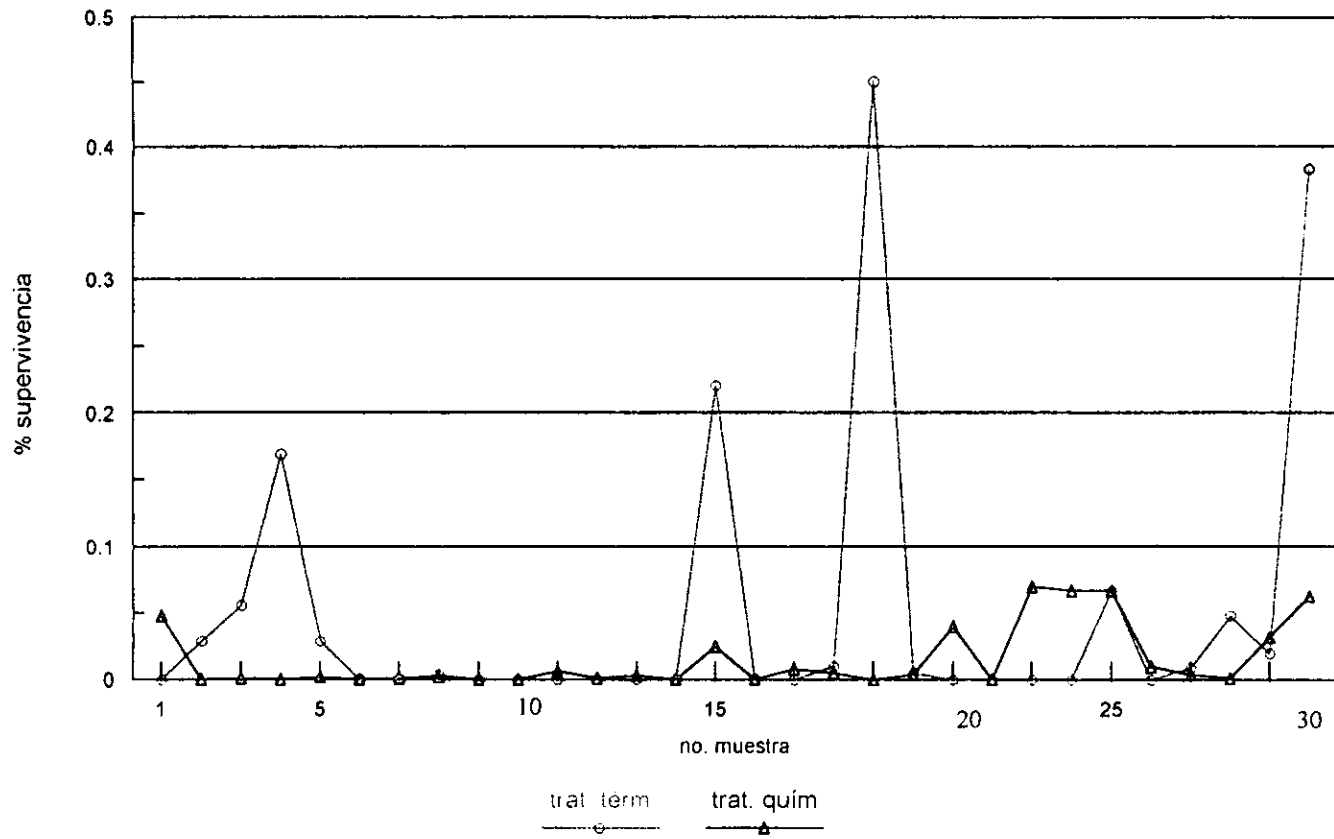


TABLA 7

EFICIENCIA DE REMOCION DE COLIFORMES TOTALES

No. de muestra	PLANTA	REACTOR	% DE EFICIENCIA DE REMOCION
1	1.50e+6	2.60e+7	-1633.0
2	6.35e+8	2.25e+7	96.5
3	2.53e+9	1.39e+9	45.1
4	5.45e+8	1.50e+8	72.5
5	3.45e+8	2.40e+8	30.4
6	5.80e+8	3.30e+8	43.1
7	4.50e+8	6.60e+8	-46.7
8	1.04e+9	5.05e+8	51.4
9	1.00e+8	4.00e+7	60.0
10	1.00e+7	1.00e+7	0.0
11	3.25e+8	5.50e+7	83.1
12	3.65e+8	6.40e+8	-75.3
13	8.50e+8	1.37e+9	-61.2
14	6.30e+8	8.00e+7	87.3
15	7.00e+8	6.00e+7	91.4
16	4.60e+8	1.00e+7	97.8
17	2.30e+8	1.40e+8	39.1
18	6.00e+7	3.00e+7	50.0
19	1.90e+8	3.00e+7	84.2
20	2.50e+8	1.05e+8	58.0
21	1.00e+8	4.50e+7	55.0
22	1.00e+8	3.00e+7	70.0
23	5.00e+7	2.00e+7	60.0
24	1.25e+8	2.00e+7	84.0
25	3.30e+8	1.05e+7	96.8
26	1.70e+8	4.00e+7	76.5
27	1.70e+9	9.00e+7	94.7
28	3.40e+8	1.00e+8	70.6
29	2.10e+8	7.40e+8	-252.4
30	8.20e+8	8.00e+7	90.2

GRÁFICA 9

% EFICIENCIA DE REMOCIÓN COLIFORMES TOTALES

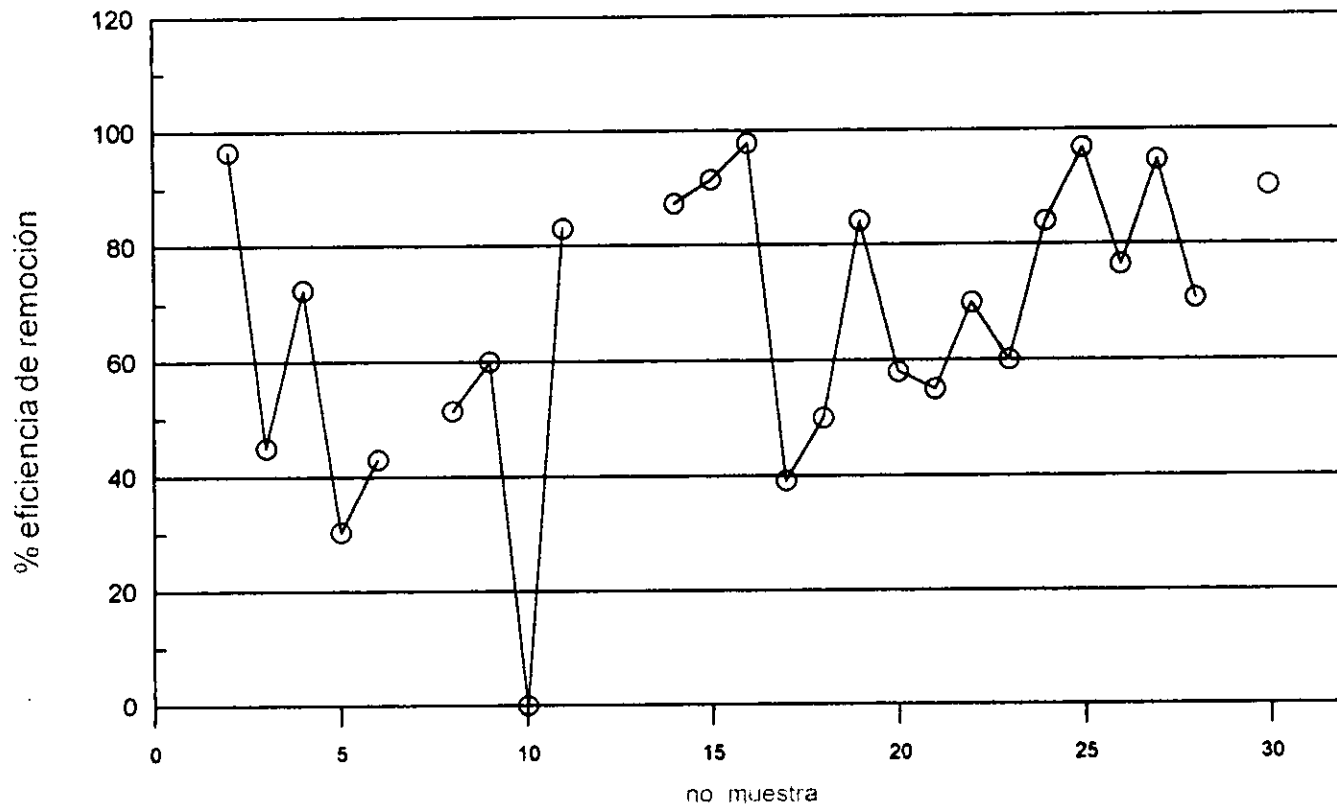


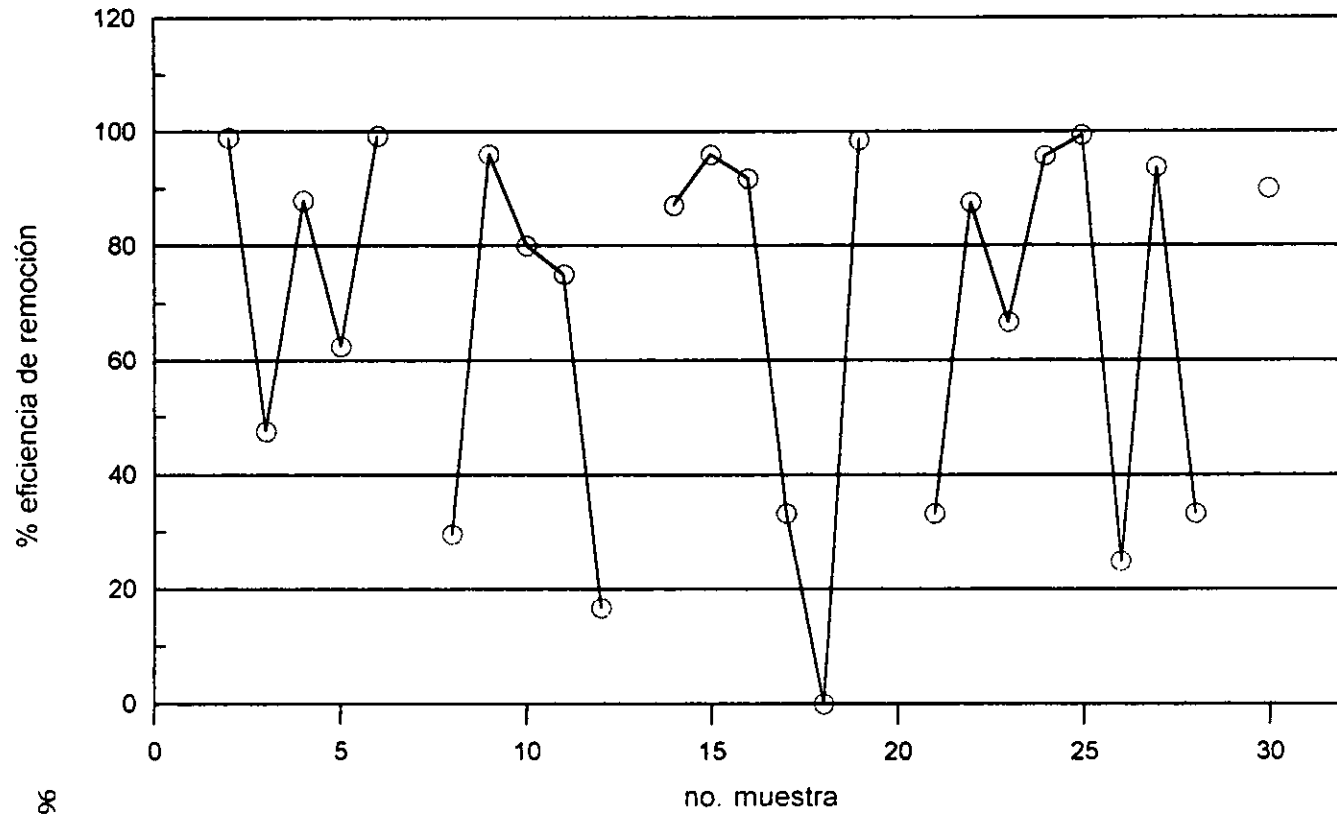
TABLA 8

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES

No. de muestra	PLANTA	REACTOR	% DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN
1	1.00e+6	1.55e+7	-1450.0
2	3.25e+8	3.50e+6	98.9
3	2.10e+8	1.10e+8	47.6
4	3.30e+8	4.00e+7	87.9
5	1.60e+8	6.00e+7	62.5
6	3.20e+8	2.50e+6	99.2
7	1.50e+8	4.80e+8	-220.0
8	4.05e+8	2.85e+8	29.6
9	1.00e+7	4.00e+5	96.0
10	1.00e+6	2.00e+5	80.0
11	1.00e+8	2.50e+7	75.0
12	9.00e+7	7.50e+7	16.7
13	2.70e+8	7.70e+8	-185.2
14	4.60e+8	6.00e+7	87.0
15	4.90e+8	2.00e+7	95.9
16	1.20e+8	1.00e+7	91.7
17	6.00e+7	4.00e+7	33.3
18	2.00e+7	2.00e+7	0.0
19	1.30e+8	2.00e+6	98.5
20	2.00e+7	6.50e+7	-220.0
21	1.50e+7	1.00e+7	33.3
22	8.00e+7	1.00e+7	87.5
23	3.00e+7	1.00e+7	66.7
24	7.00e+7	3.00e+6	95.7
25	2.35e+8	1.50e+6	99.4
26	4.00e+7	3.00e+7	25.0
27	1.11e+9	7.00e+7	93.7
28	1.20e+8	8.00e+7	33.3
29	4.00e+7	5.00e+7	-25.0
30	4.00e+8	4.00e+7	90.0

GRÁFICA 10

% EFICIENCIA DE REMOCIÓN COLIFORMES FECALES



A. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

LODO DE LA PLANTA

Se puede observar que para el lodo de la planta, los valores de **coliformes totales**, (Tabla 1), oscilan entre el valor mínimo de 1.5×10^6 , valor máximo de 2.53×10^9 y una media de 4.747×10^8 . Con el **tratamiento térmico** se observa un máximo de 3.0×10^5 , un mínimo de 0, la media de 3.727×10^4 . En el **tratamiento químico** se tiene una supervivencia máxima de 1.86×10^5 , un mínimo de 0, la media es de 4.206×10^4 .

En los **coliformes fecales** (Tabla 2), el rango está entre 1.0×10^6 y 1.11×10^9 , con una media de 1.937×10^8 . En el **tratamiento térmico** se tiene un máximo de supervivencia de 3.5×10^5 y un mínimo de 0, la media es de 3.01×10^4 . Con el **tratamiento químico** se da una supervivencia máxima de 1.46×10^5 , un mínimo de 0, la media es de 2.308×10^4 .

LODO DEL REACTOR ANAEROBIO

Los valores de **coliformes totales** (Tabla 3), están en un intervalo de 1.0×10^7 a 1.39×10^9 , con una media de 2.356×10^8 . En el **tratamiento térmico** se tiene un máximo de 7.5×10^4 , un mínimo de 0, la media es de 1.318×10^4 . En el **tratamiento químico** se tiene un máximo de 2.4×10^4 , 0 de mínimo y una media de 6.883×10^3 .

Para los **coliformes fecales** (Tabla 4), se tienen valores de

2.0×10^5 a 7.7×10^8 , con una media de 7.962×10^7 . El **tratamiento térmico** dio un máximo de 1.53×10^5 , un mínimo de 0, y la media de 1.423×10^4 . Durante el **tratamiento químico** se obtuvo un máximo de 2.5×10^4 , mínimo 0, media de 3.95×10^3 .

PORCENTAJE DE SUPERVIVIENTES

El porcentaje de supervivientes se obtiene al multiplicar el resultado del tratamiento por 100 y dividirlo entre el resultado inicial del lodo correspondiente, según la fórmula:

$$\% \text{ de supervivientes} = \frac{N_t \times 100}{N_i}$$

N_i = número de microorganismos iniciales

N_t = número de microorganismos después del tratamiento

Para los **coliformes totales** del lodo procedente de la planta con el **tratamiento térmico**, se puede observar un máximo de supervivencia de 0.133 %, un mínimo de 0 %, el cual se repite en ocho ocasiones; la media es de 0.0142 y la desviación estándar de 0.0310. Para el **tratamiento químico** se tiene una supervivencia máxima de 0.25 %, un mínimo de 0, en cinco ocasiones; la media es de 0.033 y la desviación estándar de 0.0601.

En los **coliformes fecales** con el **tratamiento térmico** se tiene un máximo de 0.300 %, un mínimo de 0, nueve veces; la media

es de 0.0285 y la desviación estándar de 0.0583. El **tratamiento químico** da una supervivencia máxima de 0.313%, un mínimo de 0, dos veces; la media es de 0.0506 y la desviación estándar de 0.0815. (Tabla 5)

Para los **coliformes totales** del lodo **procedente del reactor** con el **tratamiento térmico** se tiene un máximo de 0.16%, un mínimo de 0, once veces; la media es de 0.0214 y la desviación estándar de 0.0317. El **tratamiento químico** tiene un máximo de 0.118%, 0% de mínimo, en ocho ocasiones; la media de 0.0137 y la desviación estándar de 0.0228.

Los **coliformes fecales** tratados **térmicamente** tuvieron un máximo de supervivencia de 0.45%, un mínimo de 0%, 16 veces; la media fue de 0.0499 y la desviación estándar de 0.110. El **tratamiento químico** obtuvo un máximo de 0.07%, mínimo 0%, nueve veces; media de 0.0153 y desviación estándar de 0.0235 (Tabla 6).

REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS

Para calcular la eficiencia de remoción de microorganismos en el reactor anaerobio se aplica la fórmula:

$$\% \text{ de eficiencia de remoción} = \frac{(N_i - N_f) \times 100}{N_i}$$

Ni = número inicial de microorganismos

Nf = número final de microorganismos

Las **Tablas 7 y 8** muestra los resultados del porcentaje de la **eficacia de remoción** del reactor con respecto al lodo de la planta, de los coliformes totales y fecales.

Los **coliformes totales** tiene el valor máximo de 97.8%, mínimo de 0, el media de 67.5% y la desviación estándar de 24.1 .

En los **coliformes fecales**, el valor máximo es de 99.4%, mínimo de 0, el media es 69% y la desviación estándar de 30.9.

Como se puede observar en dichas tablas hay algunos **valores negativos**, lo que tal vez se deba a que el reactor se agitaba manualmente y en algunas ocasiones esta acción no era lo suficientemente efectiva para lograr una buena homogeneización del lodo en el reactor con el lodo de alimentación.

Al obtener el media y la desviación estándar, se omitieron estos valores.

Los valores de 0 observados significan que no hubo remoción de microorganismos.

B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos al calcular la media, desviación estándar y varianza del porcentaje de supervivencia (de las Tablas 5 Y 6) son los siguientes:

% DE SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES TOTALES EN LODO DE LA PLANTA			
TRATAMIENTO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
TÉRMICO	0.0142	0.0315	0.000995
QUÍMICO	0.0330	0.0611	0.0037

% DE SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES FECALES EN LODO DE LA PLANTA			
TRATAMIENTO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
TÉRMICO	0.0285	0.0592	0.0035
QUÍMICO	0.0506	0.0828	0.0068

% DE SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES TOTALES EN LODO DEL REACTOR			
TRATAMIENTO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
TÉRMICO	0.0214	0.0377	0.0014
QUÍMICO	0.0137	0.0231	0.0005

% DE SUPERVIVENCIA DE COLIFORMES FECALES EN LODO DEL REACTOR			
TRATAMIENTO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
TÉRMICO	0.0499	0.1119	0.0125
QUÍMICO	0.0153	0.0238	0.0005

De las pruebas de hipótesis se obtiene:

(ver desarrollo en el anexo 3):

COLIFORMES TOTALES Y FECALES EN LODO DE LA PLANTA			
	INTERVALO	VALOR DE Z	RESULTADO
COLIFORMES TOTALES	$-1.96 < Z > 1.96$	-1.4899	SE ACEPTA
COLIFORMES FECALES	$-1.96 < Z > 1.96$	-1.1892	SE ACEPTA

COLIFORMES TOTALES Y FECALES EN LODO DEL REACTOR			
	INTERVALO	VALOR DE Z	RESULTADO
COLIFORMES TOTALES	$-1.96 < Z > 1.96$	0.9539	SE ACEPTA
COLIFORMES FECALES	$-1.96 < Z > 1.96$	1.64	SE ACEPTA

De lo anterior se puede concluir que los tratamientos empleados se pueden considerar iguales en cuanto a la desinfección de los lodos provenientes del tratamiento de agua residual.

CONCLUSIONES

Por las características del lodo y los riesgos que presenta, no solo a la salud humana sino también al medio ambiente, se considera como una **sustancia peligrosa** por la Legislación Mexicana y, por lo tanto, queda prohibido su desalojo, sin previo tratamiento, no sólo a los cuerpos de agua sino también al drenaje público.

Con base en los resultados estadísticos obtenidos se puede decir que los dos procesos empleados en la desinfección de los lodos, proceso térmico y proceso químico, son **similares** en cuanto a su eficiencia de reducir el número de microorganismos.

Si las plantas de tratamiento no cuentan con un sistema de tratamiento de lodos, **se sugiere como una alternativa**, al menos desinfectar los lodos antes de arrojarlos al drenaje, ya que se comprobó que los métodos de desinfección empleados producen un lodo con un número de microorganismos que está dentro del rango autorizado por la Norma Oficial Mexicana, (NOM-CRP-001ECOL/93), el cual es de 10,000 a 20,000.

Cabe mencionar que el proceso químico de desinfección le proporciona al lodo protección por un período de tiempo más

largo, contra un aumento del número de microorganismos: aunque al adicionar calcio, en forma de Ca(OH)_2 , se pueden modificar sus características y no ser adecuado para emplearse en ciertos tipos de suelo, cuando se emplea en la Agricultura.

Al hacer la comparación de los microorganismos entre el lodo de la planta con el del reactor, se observa una **considerable disminución** en el número de microorganismos que contiene el lodo del reactor. Aunque esta disminución es muy significativa, no llega a ser la esperada, ya que el reactor del laboratorio es un modelo experimental al cual se le deberán hacer algunas modificaciones, tales como incorporar un sistema de agitación eficiente, mantener una temperatura uniforme, controlar las fluctuaciones de pH y controlar las condiciones anaerobias.

El uso de los lodos residuales tiene varias aplicaciones, ya que si son tratados adecuadamente, se puede obtener de ellos un **producto provechoso** en el área de la Agricultura; además, se puede convertir de un problema de contaminación y riesgo de diseminación de enfermedades, en un producto útil al hombre.

RECOMENDACIONES

Continuar con las investigaciones sobre el tema de la desinfección de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de agua residual: ya sea utilizando diferentes métodos o modificando las condiciones actuales.

Es importante efectuar un estudio de impacto ambiental, que evalúe los riesgos que implica el descargar los lodos al drenaje sin ningún tipo de tratamiento.

Concientizar a los responsables del manejo de las plantas, de que es necesario efectuar algún tipo de tratamiento a los lodos residuales, antes de su descarga, para reducir los riesgos de propagación de enfermedades y evitar la contaminación provocada por éstos, en las zonas donde son descargados.

Promover el uso de lodos tratados en las áreas donde puedan ser aprovechados; como por ejemplo el área agrícola, en donde puede ser útil como fertilizante, acondicionador de suelo, etc.



ANEXO 1

COLIFORMES TOTALES Y FECALES EN LODO DE LA PLANTA
--

No de muestra	COLIFORMES TOTALES			COLIFORMES FECALES		
	A	B	PROMEDIO	A	B	PROMEDIO
1	1.70e+6	1.30e+6	1.50e+6	1.00e+6	1.00e+6	1.00e+6
2	6.00e+8	6.70e+8	6.35e+8	3.00e+8	3.50e+8	3.25e+8
3	2.49e+9	2.57e+9	2.53e+9	1.90e+8	2.30e+8	2.10e+8
4	6.10e+8	4.80e+8	5.45e+8	3.00e+8	3.60e+8	3.30e+8
5	3.30e+8	3.60e+8	3.45e+8	1.30e+8	1.90e+8	1.60e+8
6	6.00e+8	5.60e+8	5.80e+8	3.40e+8	3.00e+8	3.20e+8
7	3.50e+8	5.50e+8	4.50e+8	1.00e+8	2.00e+8	1.50e+8
8	9.80e+8	1.10e+9	1.04e+9	4.20e+8	3.90e+8	4.05e+8
9	1.00e+8	1.00e+8	1.00e+8	1.00e+7	1.00e+7	1.00e+7
10	8.00e+6	1.20e+7	1.00e+7	1.00e+6	1.00e+6	1.00e+6
11	2.80e+8	3.70e+8	3.25e+8	1.50e+8	5.00e+7	1.00e+8
12	3.10e+8	4.20e+8	3.65e+8	7.00e+7	1.10e+8	9.00e+7
13	8.20e+8	8.80e+8	8.50e+8	2.50e+8	2.90e+8	2.70e+8
14	6.30e+8	6.30e+8	6.30e+8	4.40e+8	4.80e+8	4.60e+8
15	6.70e+8	7.30e+8	7.00e+8	4.90e+8	4.90e+8	4.90e+8
16	4.20e+8	5.00e+8	4.60e+8	1.40e+8	1.00e+8	1.20e+8
17	2.10e+8	2.50e+8	2.30e+8	4.30e+7	7.70e+7	6.00e+7
18	6.20e+7	5.80e+7	6.00e+7	2.10e+7	1.90e+7	2.00e+7
19	2.10e+8	1.70e+8	1.90e+8	1.10e+8	1.50e+8	1.30e+8
20	2.40e+8	2.60e+8	2.50e+8	3.00e+7	1.00e+7	2.00e+7
21	8.00e+7	1.20e+8	1.00e+8	1.00e+7	2.00e+7	1.50e+7
22	1.30e+8	7.00e+7	1.00e+8	8.60e+7	7.40e+7	8.00e+7
23	4.00e+7	6.00e+7	5.00e+7	3.20e+7	2.80e+7	3.00e+7
24	1.50e+8	1.00e+8	1.25e+8	9.00e+7	5.00e+7	7.00e+7
25	3.50e+8	3.10e+8	3.30e+8	2.60e+8	2.10e+8	2.35e+8
26	1.50e+8	1.90e+8	1.70e+8	5.00e+7	3.00e+7	4.00e+7
27	1.60e+9	1.80e+9	1.70e+9	1.30e+9	9.20e+8	1.11e+9
28	3.00e+8	3.80e+8	3.40e+8	1.40e+8	1.00e+8	1.20e+8
29	2.40e+8	1.80e+8	2.10e+8	4.50e+7	3.50e+7	4.00e+7
30	8.40e+8	8.00e+8	8.20e+8	4.40e+8	3.60e+8	4.00e+8

COLIFORMES TOTALES Y FECALES EN LODO DEL REACTOR ANAEROBIO

No. de muestra	COLIFORMES TOTALES			COLIFORMES FECALES		
	A	B	PROMEDIO	A	B	PROMEDIO
1	2.40e+7	2.80e+7	2.60e+7	1.75e+7	1.35e+7	1.55e+7
2	2.00e+7	2.50e+7	2.25e+7	4.00e+6	3.00e+6	3.50e+6
3	1.40e+9	1.38e+9	1.39e+9	1.40e+8	8.00e+7	1.10e+8
4	1.00e+8	2.00e+8	1.50e+8	2.00e+7	6.00e+7	4.00e+7
5	2.20e+8	2.60e+8	2.40e+8	5.00e+7	7.00e+7	6.00e+7
6	3.20e+8	3.40e+8	3.30e+8	2.00e+6	3.00e+6	2.50e+6
7	7.50e+8	5.70e+8	6.60e+8	4.20e+8	5.40e+8	4.80e+8
8	5.30e+8	4.80e+8	5.05e+8	2.70e+8	3.00e+8	2.85e+8
9	5.00e+7	3.00e+7	4.00e+7	5.10e+5	2.90e+5	4.00e+5
10	1.00e+7	1.00e+7	1.00e+7	1.00e+5	3.00e+5	2.00e+5
11	4.00e+7	7.00e+7	5.50e+7	2.00e+7	3.00e+7	2.50e+7
12	6.00e+8	6.80e+8	6.40e+8	8.00e+7	7.00e+7	7.50e+7
13	1.30e+9	1.44e+9	1.37e+9	7.40e+8	8.00e+8	7.70e+8
14	8.10e+7	7.90e+7	8.00e+7	6.20e+7	5.80e+7	6.00e+7
15	5.90e+7	6.10e+7	6.00e+7	1.80e+7	2.20e+7	2.00e+7
16	9.00e+6	1.10e+7	1.00e+7	1.00e+7	1.00e+7	1.00e+7
17	1.00e+8	1.80e+8	1.40e+8	3.80e+7	4.20e+7	4.00e+7
18	3.40e+7	2.60e+7	3.00e+7	1.80e+7	2.20e+7	2.00e+7
19	2.80e+7	3.20e+7	3.00e+7	2.40e+6	1.60e+6	2.00e+6
20	1.50e+8	6.00e+7	1.05e+8	5.00e+7	8.00e+7	6.50e+7
21	4.00e+7	5.00e+7	4.50e+7	9.00e+6	1.10e+7	1.00e+7
22	3.00e+7	3.00e+7	3.00e+7	1.20e+7	8.00e+6	1.00e+7
23	1.70e+7	2.30e+7	2.00e+7	1.50e+7	5.00e+6	1.00e+7
24	1.50e+7	2.50e+7	2.00e+7	3.50e+6	2.50e+6	3.00e+6
25	1.00e+7	1.10e+7	1.05e+7	1.30e+6	1.70e+6	1.50e+6
26	4.50e+7	3.50e+7	4.00e+7	3.50e+7	2.50e+7	3.00e+7
27	1.00e+8	8.00e+7	9.00e+7	5.00e+7	9.00e+7	7.00e+7
28	1.30e+8	7.00e+7	1.00e+8	8.20e+7	7.80e+7	8.00e+7
29	7.80e+8	7.00e+8	7.40e+8	6.50e+7	3.50e+7	5.00e+7
30	8.30e+7	7.70e+7	8.00e+7	3.50e+7	4.50e+7	4.00e+7

**TRATAMIENTOS TÉRMICO Y QUÍMICO DE COLIFORMES
 TOTALES EN LODO DE LA PLANTA**

No de muestra	TRATAMIENTO TÉRMICO			TRATAMIENTO QUÍMICO		
	A	B	PROMEDIO	A	B	PROMEDIO
1	3,000	1,000	2,000	3,600	3,900	3,750
2	0	0	0	2,000	4,000	3,000
3	14,000	6,000	1,0000	2,000	4,000	3,000
4	51,000	34,000	42500	4,000	1,0000	7,000
5	60,000	72,000	66,000	18,000	1,0000	14,000
6	15,000	19,000	17,000	1,0000	2,0000	15,000
7	4,000	7,000	5,500	1,500	2,500	2,000
8	116,000	139,000	127,500	85,000	95,000	9,0000
9	7,000	3,000	5,000	500	1,500	1,000
10	1,000	1,000	1,000	2,500	1,500	2,000
11	1,000	3,000	2,000	12,000	16,000	14,000
12	900	1,100	1,000	5,000	3,000	4,000
13	0	0	0	2,500	5,500	4,000
14	0	0	0	0	0	0
15	325,000	275,000	300,000	65,000	75,000	70,000
16	13,000	9,000	11,000	5,500	6,500	6,000
17	0	0	0	22,000	26,000	24,000
18	3,500	4,500	4,000	2,500	1,500	2,000
19	230,000	210,000	220,000	91,000	97,000	94,000
20	3,000	4,000	3,500	80,000	88,000	84,000
21	800	1,200	1,000	34,000	43,000	38,500
22	0	0	0	178,000	194,000	186,000
23	4,000	9,000	6,500	82,000	78,000	80,000
24	1,500	2,500	2,000	90,000	85,000	87,500
25	5,000	8,000	6,500	232,000	220,000	226,000
26	13,500	10,500	12,000	10,000	8,000	9,000
27	9,500	6,500	8,000	20,000	18,000	19,000
28	17,500	12,500	15,000	22,500	25,500	24,000
29	38,000	40,000	39,000	116,000	120,000	118,000
30	220,000	200,000	210,000	29,000	33,000	31,000

**TRATAMIENTOS TÉRMICO Y QUÍMICO DE COLIFORMES
FECALIS EN LODO DE LA PLANTA**

No. de muestra	TRATAMIENTO TÉRMICO			TRATAMIENTO QUÍMICO		
	A	B	PROMEDIO	A	B	PROMEDIO
1	1,000	1,000	1,000	1,000	3,000	2,000
2	33,000	37,000	35,000	0	0	0
3	0	0	0	500	1,500	1,000
4	83,000	75,000	79,000	8,000	10,000	9,000
5	17,000	16,000	16,500	7,000	10,000	8,500
6	8,500	5,500	7,000	2,000	6,000	4,000
7	12,000	6,000	9,000	5,500	2,500	4,000
8	92,000	107,000	99,500	52,000	63,000	57,500
9	1,500	2,500	2,000	2,500	1,500	2,000
10	2,500	3,500	3,000	1,700	2,300	2,000
11	500	1,500	1,000	9,000	4,000	6,500
12	0	0	0	3,000	1,000	2,000
13	0	0	0	1,800	2,200	2,000
14	0	0	0	18,500	23,500	21,000
15	335,000	365,000	350,000	42,000	36,000	39,000
16	4,500	7,500	6,000	1,100	900	1,000
17	0	0	0	18,000	16,000	17,000
18	0	0	0	800	1,200	1,000
19	100,000	120,000	110,000	39,000	45,000	42,000
20	19,000	21,000	20,000	67,000	58,000	62,500
21	0	0	0	28,000	34,000	31,000
22	1,000	1,000	1,000	77,000	69,000	73,000
23	700	1,300	1,000	2,000	15,000	17,500
24	0	0	0	18,500	23,500	21,000
25	2,500	3,500	3,000	134,000	158,000	146,000
26	8,500	9,500	9,000	5,500	6,500	6,000
27	3,500	6,500	5,000	8,000	6,000	7,000
28	11,000	15,000	13,000	13,500	16,500	15,000
29	8,000	12,000	1,000	72,000	80,000	76,000
30	126,000	120,000	123,000	17,500	14,500	16,000

**TRATAMIENTOS TÉRMICO Y QUÍMICO DE COLIFORMES
TOTALES EN LODO DEL REACTOR ANAEROBIO**

No. de muestra	TRATAMIENTO TÉRMICO			TRATAMIENTO QUÍMICO		
	A	B	PROMEDIO	A	B	PROMEDIO
1	0	0	0	4,000	6,000	5,000
2	34,000	38,000	36,000	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	28,000	26,000	27,000	2,700	2,300	2,500
6	38,000	40,000	39,000	1,000	1,000	1,000
7	2,000	1,000	1,500	19,000	24,000	21,500
8	19,000	17,000	18,000	6,500	7,500	7,000
9	2,700	3,300	3,000	1,500	500	1,000
10	1,800	2,200	2,000	3,200	2,800	3,000
11	0	0	0	900	1,100	1,000
12	1,000	1,000	1,000	3,100	2,900	3,000
13	700	1,300	1,000	1,900	2,100	2,000
14	0	0	0	19,500	22,500	21,000
15	50,000	58,000	54,000	9,000	13,000	11,000
16	1,050	950	1,000	0	0	0
17	0	0	0	5,700	6,300	6,000
18	2,300	1,700	2,000	2,100	1,900	2,000
19	22,000	26,000	24,000	1,100	900	1,000
20	7,400	6,600	7,000	0	0	0
21	1,100	900	1,000	3,400	2,600	3,000
22	0	0	0	4,800	5,200	5,000
23	9,000	10,000	9,500	23,000	24,000	23,500
24	0	0	0	3,500	4,500	4,000
25	1,600	1,400	1,500	5,500	4,500	5,000
26	6,300	5,700	6,000	14,500	13,500	14,000
27	6,200	5,800	6,000	14,300	13,700	14,000
28	54,000	46,000	50,000	7,100	6,900	7,000
29	31,500	28,500	30,000	27,500	24,500	26,000
30	73,000	77,000	75,000	18,500	15,500	17,000

**TRATAMIENTOS TÉRMICO Y QUÍMICO DE COLIFORMES
FECALES EN LODO DEL REACTOR ANAEROBIO**

Nº de muestra	TRATAMIENTO TÉRMICO			TRATAMIENTO QUÍMICO		
	A	B	PROMEDIO	A	B	PROMEDIO
1	0	0	0	7,700	7,300	7,500
2	800	1,200	1,000	0	0	0
3	60,000	64,000	62,000	1,000	1,000	1,000
4	68,500	66,500	67,500	0	0	0
5	16,000	19,000	17,500	1,500	500	1,000
6	0	0	0	0	0	0
7	1,000	2,000	1,500	5,600	5,400	5,500
8	12,000	11,000	11,500	6,500	4,500	5,500
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	800	2,200	1,500
12	0	0	0	1,100	900	1,000
13	0	0	0	18,000	26,000	22,000
14	0	0	0	0	0	0
15	42,000	46,000	44,000	4600	5400	5,000
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	3,400	2600	3,000
18	2,100	1,900	2,000	850	1,150	1,000
19	8,500	9,500	9,000	0	0	0
20	3,300	2,700	3,000	2,000	3,000	2,500
21	0	0	0	4,400	3,600	4,000
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	7,100	6,900	7,000
24	0	0	0	2,200	1,800	2,000
25	1,100	900	1,000	1,050	950	1,000
26	0	0	0	3,200	2,800	3,000
27	6,300	5,700	6,000	3,100	2,900	3,000
28	40,000	36,000	38,000	1,040	960	1,000
29	11,000	9,000	10,000	17,500	14,500	16,000
30	156,000	150,000	153,000	26,000	24,000	25,000

**LOGARITMO DEL NÚMERO DE COLIFORMES TOTALES Y FECALIS DE
LOS TRATAMIENTOS TÉRMICO Y QUÍMICO EN LODO DE LA PLANTA**

No. de muestra	COLIFORMES TOTALES	TRATAMIENTO TÉRMICO	TRATAMIENTO QUÍMICO	COLIFORMES FECALIS	TRATAMIENTO TÉRMICO	TRATAMIENTO QUÍMICO
1	6.18	3.30	3.57	6.00	3.00	3.30
2	8.80	0.00	3.48	8.51	4.54	0.00
3	9.40	4.00	3.48	8.32	0.00	3.00
4	8.74	4.63	3.85	8.52	4.90	3.95
5	8.54	4.82	4.15	8.20	4.22	3.93
6	8.76	4.23	4.18	8.51	3.85	3.60
7	8.65	3.74	3.30	8.18	3.95	3.60
8	9.02	5.11	4.95	8.61	5.00	4.76
9	8.00	3.70	3.00	7.00	3.30	3.30
10	7.00	3.00	3.30	6.00	3.48	3.30
11	8.51	3.30	4.15	8.00	3.00	3.81
12	8.56	3.00	3.60	7.95	0.00	3.30
13	8.93	0.00	3.60	8.43	0.00	3.30
14	8.80	0.00	0.00	8.66	0.00	4.32
15	8.85	5.48	4.85	8.69	5.54	4.59
16	8.66	4.04	3.78	8.08	3.78	3.00
17	8.36	0.00	4.38	7.78	0.00	4.23
18	7.78	3.60	3.30	7.30	0.00	3.00
19	8.28	5.34	4.97	8.11	5.04	4.62
20	8.40	3.54	4.92	7.30	4.30	4.80
21	8.00	3.00	4.59	7.18	0.00	4.49
22	8.00	0.00	5.27	7.90	3.00	4.86
23	7.70	3.81	4.90	7.48	3.00	4.24
24	8.10	3.30	4.94	7.85	0.00	4.32
25	8.52	3.81	5.35	8.37	3.48	5.16
26	8.23	4.08	3.95	7.60	3.95	3.78
27	9.23	3.90	4.28	9.05	3.70	3.85
28	8.53	4.18	4.38	8.08	4.11	4.18
29	8.32	4.59	5.07	7.60	4.00	4.88
30	8.91	5.32	4.49	8.60	5.09	4.20

LOGARITMO DEL NÚMERO DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICO Y QUÍMICO EN LODO DEL REACTOR ANAEROBIO

No. de muestra	COLIFORMES TOTALES	TRATAMIENTO TÉRMICO	TRATAMIENTO QUÍMICO	COLIFORMES FECALES	TRATAMIENTO TÉRMICO	TRATAMIENTO QUÍMICO
1	7.41	0.00	3.70	7.19	0.00	3.88
2	7.35	4.56	0.00	6.54	3.00	0.00
3	9.14	0.00	0.00	8.04	4.79	3.00
4	8.18	0.00	0.00	7.60	4.83	0.00
5	8.38	4.43	3.40	7.78	4.24	3.00
6	8.52	4.59	3.00	6.40	0.00	0.00
7	8.82	3.18	4.33	8.68	3.18	3.74
8	8.70	4.26	3.85	8.45	4.06	3.74
9	7.60	3.48	3.00	5.60	0.00	0.00
10	7.00	3.30	3.48	5.30	0.00	0.00
11	7.74	0.00	3.00	7.40	0.00	3.18
12	8.81	3.00	3.48	7.88	0.00	3.00
13	9.14	3.00	3.30	8.89	0.00	4.34
14	7.90	0.00	4.32	7.78	0.00	0.00
15	7.78	4.73	4.04	7.30	4.64	3.70
16	7.00	3.00	0.00	7.00	0.00	0.00
17	8.15	0.00	3.78	7.60	0.00	3.48
18	7.48	3.30	3.30	7.30	3.30	3.00
19	7.48	4.38	3.00	6.30	3.95	0.00
20	8.02	3.85	0.00	7.81	3.48	3.40
21	7.65	3.00	3.48	7.00	0.00	3.60
22	7.48	0.00	3.70	7.00	0.00	0.00
23	7.30	3.98	4.37	7.00	0.00	3.85
24	7.30	0.00	3.60	6.48	0.00	3.30
25	7.02	3.18	3.70	6.18	3.00	3.00
26	7.60	3.78	4.15	7.48	0.00	3.48
27	7.95	3.78	4.15	7.85	3.78	3.48
28	8.00	4.70	3.85	7.90	4.58	3.00
29	8.87	4.48	4.41	7.70	4.00	4.20
30	7.90	4.88	4.23	7.60	5.18	4.40



ANEXO 2

Medios de cultivo

<p>Caldo M-Endo para coliformes totales</p>
--

Triptosa o polipeptona	10.00	g
Tiopeptona o tiotona	5.00	g
Casitona o tripticasa	5.00	g
Extracto de levadura	1.5	g
Lactosa	12.5	g
Cloruro de sodio	5.00	g
Fosfato dipotásico	4.375	g
Fosfato monopotásico	1.375	g
Lauril sulfato de sodio	0.05	g
Desoxicolato de sodio	0.1	g
Sulfito de sodio	2.1	g
Fuscina básica	1.05	g

Preparación

Se suspenden 48 g del medio deshidratado en 1 litro de agua destilada: se agrega 20 mL de etanol al 95%, se adiciona 15 g de agar. Calentar agitando frecuentemente, hasta disolver el agar, se retira del calor y se vierte en las cajas Petri. El pH final debe ser de $7.2 \pm .1$; conservar en la oscuridad entre 2-10 °C. No se debe esterilizar en autoclave.

Caldo MFC para coliformes fecales

Triptosa	10.00 g
Proteosa o polipeptona	5.00 g
Extracto de levadura	3.00 g
Cloruro de sodio	5.00 g
Lactosa	12.50 g
Sal de bilis	1.50 g
Anilina azul	0.1 g

Preparación

Disolver 37 g de medio en 1 L de agua destilada; adicionar 10 mL de solución de ácido rosólico al 1% y 15 g de agar, calentar agitando frecuentemente, hasta disolver el agar, retirar del calor y verter en las cajas Petri. El pH final de ser de 7.4 ±.1: conservar en refrigeración. No se esteriliza en autoclave.

La solución de ácido rosólico se prepara pesando .01 g de ácido rosólico y disolviendo en NaOH 0.2 N, en un matraz aforado de 10 mL: esta solución se debe mantener en la oscuridad a 2-10 °C; se desecha cuando cambia de color rojo oscuro a pardo sucio.

Los medios de cultivo se vierten en las cajas petri en porciones de 7-10 mL y se conservan en refrigeración.

agua de dilución

peptona de caseína	1 g
agua destilada	1 L

Preparación

Se disuelve 1 g de peptona de caseína en 1 litro de agua destilada y se esteriliza en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Todo el material de vidrio se lava cuidadosamente con un detergente adecuado, se enjuaga con abundante agua y por último se enjuaga con agua destilada.

Las cajas de Petri y las pipetas, se envuelven en papel Kraft y se esterilizan en la estufa a 170°C durante 60 minutos.

El equipo Millipore se envuelve en papel y se esteriliza en autoclave a 121°C por 15 minutos. Los matraces para hacer las diluciones también se esterilizan en autoclave.



ANEXO 3

PRUEBAS DE HIPÓTESIS

Se quiere probar que dos tratamientos, térmico y químico, son similares o no en su efectividad para eliminar a los microorganismos coliformes totales y coliformes fecales, del lodo de dos diferentes fuentes.

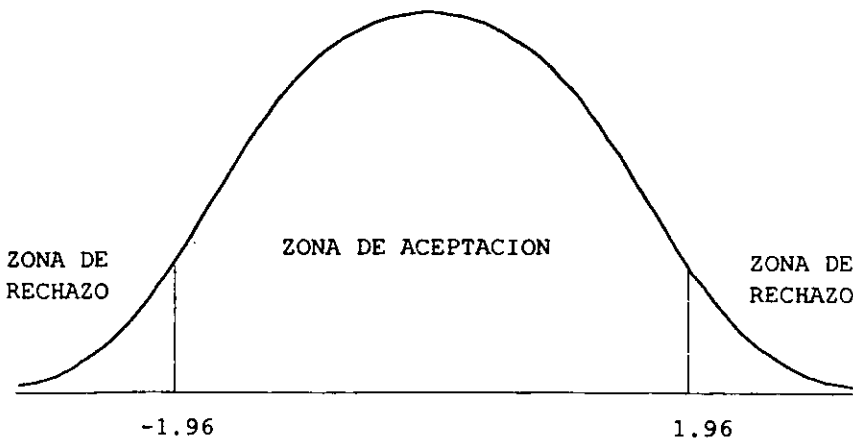
Para ello se utilizarán los datos del porcentaje de supervivencia de los diferentes tipos de microorganismos (Tablas 5 y 6) y se considerará lo siguiente:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ las medias de los tratamientos son iguales

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ hay diferencia entre las medias de los tratamientos.

Para un valor de confianza $1-\alpha$ de 95%, $\alpha = 0.05$, donde Z_α de tablas está dentro del rango de -1.96 a 1.96 , para H_0 bilateral o de dos colas.

Se rechaza H_0 si el valor de Z se encuentra fuera del intervalo de -1.96 a 1.96 .



Sean las medias μ_1 y μ_2 de dos poblaciones, las desviaciones estándares σ_1 y σ_2 y las varianzas σ_1^2 y σ_2^2 .

El valor de Z para obtener la hipótesis H_0 se calcula como:

$$Z = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

μ_1 = media del tratamiento 1

μ_2 = media del tratamiento 2

σ_1^2 = varianza del tratamiento 1

σ_2^2 = varianza del tratamiento 2

n_1 = número de muestras del tratamiento 1

n_2 = número de muestras del tratamiento 2

Para el porcentaje de supervivencia de coliformes totales del lodo de la planta (Tabla 5), se tienen los siguientes datos:

COLIFORMES TOTALES EN LA PLANTA	
Tratamiento térmico	Tratamiento químico
$\mu_1 = 0.0145$	$\mu_2 = 0.0332$
$\sigma_{n-1} = 0.0315$	$\sigma_{n-1} = 0.0611$
$\sigma_1^2 = 0.00099$	$\sigma_2^2 = 0.0037$
$n_1 = 30$	$n_2 = 30$

El valor de Z se calcula según la fórmula y se obtiene:

$$Z = -1.4899$$

Como $Z = -1.4899$, es mayor de $Z_{\alpha} = -1.96$, se acepta H_0 , lo que estadísticamente implica que no existe diferencia significativa entre las medias.

Para el porcentaje de supervivencia de coliformes **fecales** del lodo de la planta (Tabla 5), se tienen los siguientes datos:

COLIFORMES FECALES EN LA PLANTA	
Tratamiento térmico	Tratamiento químico
$\mu_1 = 0.0285$	$\mu_2 = 0.0506$
$\sigma_{n-1} = 0.0592$	$\sigma_{n-1} = 0.0828$
$\sigma_1^2 = 0.003504$	$\sigma_2^2 = 0.006855$
$n_1 = 30$	$n_2 = 30$

El valor de Z para confrontar la hipótesis H_0 se calcula como en el caso anterior y se obtiene:

$$Z = -1.1892$$

Como $Z = -1.1892$ cae dentro del rango -1.96 a 1.96 , se acepta H_0 , lo que estadísticamente implica que no existe diferencia significativa entre las medias.

Por lo tanto, se puede decir que los dos tratamientos, tanto el térmico como el químico, son semejantes cuando se aplican al lodo de la planta, para la eliminación de los coliformes totales y los coliformes fecales .

Para el porcentaje de supervivencia de coliformes totales del lodo del reactor (Tabla 6), se tienen los siguientes datos:

COLIFORMES TOTALES EN EL REACTOR	
Tratamiento térmico	Tratamiento químico
$\mu_1 = 0.0214$	$\mu_2 = 0.0137$
$\sigma_{n-1} = 0.0377$	$\sigma_{n-1} = 0.0231$
$\sigma_1^2 = 0.001421$	$\sigma_2^2 = 0.000533$
$n_1 = 30$	$n_2 = 30$

Donde $Z = 0.9539$

Como $Z = 0.9539$ está dentro del rango -1.96 a 1.96 ; se acepta H_0 , por lo que, estadísticamente no existe diferencia significativa entre las medias.

Para el porcentaje de supervivencia de **coliformes fecales** del lodo del reactor (Tabla 6), se tienen los datos de:

COLIFORMES FECALES EN EL REACTOR	
Tratamiento térmico	Tratamiento químico
$\mu_1 = 0.0499$	$\mu_2 = 0.0153$
$\sigma_{n-1} = 0.1119$	$\sigma_{n-1} = 0.0238$
$\sigma_1^2 = 0.01252$	$\sigma_2^2 = 0.000566$
$n_1 = 30$	$n_2 = 30$

Donde $Z = 1.656$

Como $Z = 1.656$ está dentro de la zona de aceptación, se acepta H_0 , lo que estadísticamente implica que no existe diferencia significativa de las medias.

Por lo tanto, se puede decir que los dos tratamientos, tanto térmico como químico, son teóricamente iguales al ser aplicados para la eliminación de los coliformes totales y los coliformes fecales del lodo del reactor anaerobio.



BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- 1 Alcántara Moreno, Jaime. Martínez M., Isidro. Colín, Arturo. Vega, María Elena, **Caracterización parcial y desinfección por irradiación de lodos residuales**. Memorias del VII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Oaxaca, México, (1990).
- 2 APHA, AWWA, WPCF. **Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales**, Ed. Díaz de Santos, México. (1989).
- 3 Bruce, A.M.. **Sewage sludge stabilisation and disinfection**. chapter 1 and 2. Ed. WRC (Water Research Center), Londres, Inglaterra, (1984).
- 4 Brunner, D.R. and Keller, D.J., **Sanitary landfill design and operation**, USEPA, USA. (1972).
- 5 Cecil, Lue Hing, Zenz, David R. Kuchenrither, Richard. **Municipal sewage sludge management processing, utilization and disposal**. chapter 4. Ed. Technomic (Water quality management). USA. (1992).

- 6 Cuervo F.H. **Generalidades sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales**. Manual del curso "Tratamiento anaerobio de aguas residuales Microbiología y Bioquímica". Medellín, Colombia. (1988).
- 7 DDF / DGCOH. **Análisis de factibilidad técnica, económica y operacional de operación de normas para el reuso de agua residual tratada en el D.F.** DGCOH. (1989).
- 8 DDF/DGCOH. **Compendio de los Servicios Hidráulicos de la Ciudad de México**. DGCOH. (1995).
- 9 DDF / DGCOH. **Diseño ejecutivo de dispositivos experimentales para el tratamiento de lodos de desecho mediante el estudio de las condiciones de los mismos, de las condiciones prevalecientes en las plantas que los generan y de la tecnología existente**. DGCOH. (1984).
- 10 DDF / DGCOH, **Manual para la operación de dispositivos experimentales de tratamiento biológico**, DGCOH. (1986).
- 11 **Diario Oficial de la Federación**, 18 de octubre de 1993.

- 12 Frobisher, Robert. **Microbiología de Fuerst y Frobisher.** cap 10, De. Interamericana, México. (1984).

- 13 Guerrero Villalobos, G. Moreno Fernández, A. Garduño Velasco, H. **Sistema hidráulico del Distrito Federal un servicio público en transición.** D.D.F., (1982).

- 14 Hernández Muñoz, Aurelio. **Saneamiento y alcantarillado.** cap 1. Ed. Paraninfo, España, (1990).

- 15 Jay M., James. **Microbiología moderna de los alimentos,** cap 15. Ed. Acribia, México, (1978).

- 16 Keime, P. **¿ Los lodos, un subproducto útil en la agricultura ?.** Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Acapulco, México, (1982).

- 17 Lawrence K, Wang, Mu Hao Wang, George G.Perry. **General theories of chemical disinfection and sterilization of sludge.** Water and Sewage Works, No.8, vol 125, 58-64. USA. (1978).

- 18 Lleresma Villalpando, F. Alberto. Solano Velázquez, Miguel A.. **Aprovechamiento masivo de lodos residuales como sustrato para viveros.** Memorias del VII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Oaxaca, México, (1990).
- 19 Martínez Lagunes, Rene. **Digestión anaerobia de lodos residuales: operación, control y cinética.** Tesis 1992. Facultad de Química UNAM.
- 20 Moeller Ch, Gabriela. Ferat T, Catalina. **Manual de prácticas de Microbiología Sanitaria.** DEPMI-UNAM. (1992).
- 21 Noyola R. A. **Tratamiento anaerobio de aguas residuales: Una experiencia de adaptación de Tecnología en México.** Memorias de conferencias sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales en América Latina. UNAM, México. (1991).
- 22 Pavlostathis and E. Giraldo-Gómez. **Kinetics of Anaerobic Treatment.** Wat. Sci. Tech. No.24, Vol.8 ,35-59 pp. (1991).
- 23 Pelczar, Michael J. Reid, R.D. Chan, E.L.S. **Microbiología.** cap 4, 6 ,15 y 34 , Ed. Mc Graw Hill, México, (1990).

- 24 Shertzer, Richard H.. **Wastewater disinfection time for a change.** Journal WPCF, no.3, vol 58, 35-39 pp. Washington, D.C. (1986).
- 25 **Sludge disinfection:** A review of the literature. Prepared by WPCF Disinfection Committee Water Pollution Control Federation. Washington, D.C.. (1984).
- 26 Stanfford, D. A. and Calley, A. G.. **Microbiological and Biochemical Aspects, Treatment of Industrial Effluents.** Ed. Calley, Forster and Stanfford. Londres. (1977).
- 27 Tebbutt, T.H.Y . **Fundamento de control de calidad del agua.** cap 15. Ed. Limusa Noriega, México, (1990).
- 28 U.S. Environmental Protection Agency. **Environmental regulations and technology control of pathogens and vector attraction in sewage sludge.** EPA/ 625/ R-92/ 013. USA, (1992).
- 29 Winkler, Michael A., **Tratamiento biológico de aguas de desecho,** Ed. Limusa, México, (1986).