



U. M. S. N. H.

FACULTAD DE QUIMICO FARMACOBIOLOGÍA

**CARACTERIZACIÓN DE METALES PESADOS EN
LIXIVIADOS DEL BASURERO MUNICIPAL DE MORELIA,
MICHOCÁN, USANDO ARCILLAS COMO FUENTE DE
RETENCIÓN DE LOS METALES.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

p QFB. JUAN CARLOS HERRERA TELLEZ

ASESOR:

D.C. MA. GUADALUPE GARNICA ROMO



MORELIA, MICH. DICIEMBRE DE 2008

AGRADECIMIENTOS

A MI MADRE Y A MI PADRE

A mis padres quienes me infundieron el rigor y ejemplo que guían mi transitar por la vida, porque gracias a su apoyo y consejo he llegado a realizar una de las más grandes metas en mi vida, la cual constituye la herencia más grande que pude recibir.

A MIS HERMANOS

Por su cariño y apoyo a lo largo de los años en que convivimos día con día.

AL DR. Ma. GUADALUPE GARNICA ROMO, ASESOR DE LA TESIS

Por la disponibilidad de asesorarme, por la confianza brindada y el apoyo otorgados durante mis prácticas y la elaboración de este trabajo de investigación.

A MIS AMIGAS(OS) Y COMPAÑERAS(OS) DE DE TODA LA VIDA

Por su apoyo, tiempo, enseñanzas y los buenos momentos que pasamos juntos.

A DIOS

Por acompañarme siempre en todo momento de dificultad, permitirme terminar satisfactoriamente mis estudios y por cuidar a mi familia.

A COECYT

Por el soporte financiero al proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN	1
OBJETIVOS	2
INTRODUCCION	3
CAPITULO 1 ANTECEDENTES	5
1.1 Geología e hidrología de la zona	6
1.2 Contaminación causada por rellenos sanitarios	9
1.3 Bioquímica de rellenos sanitarios	9
1.4 Plaguicidas y otros químicos producidos en los rellenos sanitarios	11
1.5 Metales pesados	12
1.6 Adsorción	13
1.7 Intercambio iónico	14
CAPITULO2 MATERIALES UTILIZADOS	
2.1 Arcillas	15
2.2 Bentonitas	17
2.3 Zeolitas	18
2.4 Tezontle	19
2.5 Diatomita	19
2.5.1 Características y usos de la diatomita	20
CAPITULO 3 TECNICAS DE CARACTERIZACION	
3.1. Índice de masas	22
3.2 Espectroscopía de absorción atómica	23
3.3 Determinación de área superficial	25
3.4 Demanda química de oxígeno (DQO)	27
3.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	28
3.6 Análisis microbiológico	30
3.6.1 Tinción gram	30
3.6.2 Pruebas bioquímicas	32

CAPITULO 4 DESARROLLO EXPERIMENTAL	38
4.1 Recolección del lixiviado	39
4.2 Diseño del prototipo	39
4.2.1 Preparación de las camas de arcillas	42
4.3 Método de digestión ácida	44
4.4 Método análisis microbiológico	46
CAPITULO 5 RESULTADOS Y DISCUSION	
5.1 Análisis de espectroscopia de absorción atómica (AAS)	48
5.2 Análisis de espectroscopia de masas acoplada a plasma (ICP-MS).	49
5.3 Resultados DQO y DBO5	52
5.4 Determinación de área superficial	54
5.5 Resultados del análisis microbiológico.	55
CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFIA	63
GLOSARIO	67

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1_ Efectos en la salud humana, por compuestos orgánicos volátiles en lixiviados	11
Tabla 2_ Limites tolerables de algunos metales en lixiviados.	12
Tabla 3_ Efectos tóxicos de algunos metales	13
Tabla 4_ Propiedades químicas de la diatomita	22
Tabla 5_ Diluciones para DBO ₅	29
Tabla 6_ Interpretación de resultados MIO	34
Tabla 7_ Interpretación de resultados LIA	35
Tabla 8_ Concentración de metales en lixiviado por AAS	48
Tabla 9_ Concentración de metales en lixiviado por ICP-MS	49
Tabla 10_ Resultados DQO y DBO ₅	53
Tabla 11_ Representación área superficial de las arcillas	54
Tabla 12_ Clasificación microscópica de microorganismo G+ y G-	55
Tabla 13.1 13.6_ Clasificación colonias sembradas	56
Tabla 14_ Resultados catalasa y oxidasa	58
Tabla 15_ Resultados pruebas bioquímicas	60

ÍNDICE FIGURAS

Fig1. Estratigrafía del subsuelo, occidente del municipio de Morelia	8
Fig2. Plano del oeste del municipio de Morelia	8
Fig3. Estructura tetraédrica de una arcilla	16
Fig4. Obtención del tezontle	19
Fig5. Espectrómetro de Absorción Atómica	24
Fig6. Analizador de área superficial	26
Fig8. Prototipo de acrílico primera parte	40
Fig9. Protótipo de acrílico segunda parte	40
Fig10. Prototipo de acrílico tercera parte	41
Fig11. Prototipo de a acrílico cuarta parte	41
Fig12. Representación prototipo de acrílico completo	42
Fig13. Representación acomodo de arcillas cama 1	42
Fig14. Representación acomodo de arcillas cama2	43
Fig15. Representación acomodo de arcillas cama3	43
Fig16. Representación acomodo de arcillas cama4	43
Fig17. Representación acomodo de arcillas cama5	44
Fig18. Representación acomodo de arcillas cama6	44
Fig19. Representación acomodo de arcillas cama7	44
Fig20. Grafico 1 representación de metales presentes en lixiviado M1, M2 y M3 .	50
Fig21. Grafico 2 representación de metales presentes en lixiviado M4, M5, M6 y M7	51
Fig22. Grafico 3 representación de metales presentes en lixiviado M8, M9 y M1	52

RESUMEN

El problema de los rellenos sanitarios es antes que nada un problema ambiental, ya que afecta el entorno y la calidad de vida de la población. El origen principalmente urbano, ya que son el hombre y las grandes aglomeraciones sociales las que generan principalmente la mayor cantidad de residuos en el territorio. Sin embargo otro problema generado por estos residuos sólidos, es la lixiviación de contaminantes con sustancias orgánicas (materia orgánica) e inorgánicas (metales pesados), que pueden fluir hacia el sistema de mantos acuíferos. El objetivo de este proyecto es estudiar la contaminación en suelo, agua superficial y subterránea ocasionada por la materia orgánica e inorgánica contenida en lixiviados provenientes de un relleno sanitario, además de la retención de metales pesados; para lo cual se diseñó un prototipo de acrílico a escala colocando camas con diferentes arcillas para la retención de metales pesados contenidos en una muestra de lixiviado del relleno sanitario y proponer una posible solución a la contaminación de los mantos acuíferos, que alimentan gran parte de la población. Estos metales representan un gran problema para la población, ya que son altamente tóxicos cuando se encuentran en concentraciones mayores a los límites máximos permisibles establecidos en las normas. Para este prototipo se utilizaron arcilla y diatomita extraídas del municipio de Charo Michoacán, México y tezontle, ya que estos materiales tienen la capacidad de adsorber los metales pesados, además de ser fáciles de encontrar. A estos materiales se les realizaron diferentes análisis; entre otros; para determinar los cambios que pudieran tener después de ser manipulados tomando en cuenta las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Además se determinó la eficiencia de remoción de algunos contaminantes contenidos en los lixiviados de la basura.

OBJETIVOS

Verificar si en las muestras tomadas hay alguna variación al respecto de los microorganismos presentes antes del tratamiento y después de ser tratados y observar si este tratamiento sirve también para la retención de microorganismos.

Analizar los metales pesados en el lixiviado antes de tratarse y posteriormente realizar la determinación de estos metales cuando pasan a través de la cama de arcillas además de observar si existe una disminución en la concentración de estos metales.

INTRODUCCION

El problema de los rellenos sanitarios es uno de los más grandes problemas de la actualidad. La industrialización de la sociedad contemporánea ha dado como resultado un incremento exponencial de la producción de basura (2). El hombre y las grandes industrias son los principales responsables y generadores de los residuos en el territorio. El termino residuo incluye todos los desechos que pueden ser reutilizables, recuperables, o reciclables por alguna vía.

Los residuos orgánicos ocupan en el mundo un lugar prioritario desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Constituye entre el 30 y el 65% de los residuos domiciliarios, según lugar y clima; más del 85% de los residuos considerados agrícolas y un porcentaje no despreciable de residuos industriales (3).

Los lixiviados son las aguas residuales formadas en los depósitos de basura, debido a la descomposición de los desechos y otros factores como la precipitación pluvial y la composición de los residuos. Pueden contaminar severamente los mantos acuíferos y lo ideal es que se almacenen en los rellenos sanitarios para ser tratados posteriormente (3). La peligrosidad de los lixiviados se incrementa por el exceso de residuos sólidos en los rellenos sanitarios, lo cual se debe al crecimiento poblacional y a los elevados índices de consumismo actual, además del potencial de riesgo de los componentes de algunos desechos como limpiadores, pinturas, solventes, y baterías (3). El caudal del lixiviado varía de acuerdo al estado de avance y el tipo de operación del relleno, a la composición y también al tiempo.

Si el relleno sanitario no tiene sistema de recolección de lixiviados estos pueden alcanzar las aguas subterráneas y causar como resultado problemas medio ambientales y de salud. El lixiviado comúnmente es anóxico, ácido, rico en ácidos orgánicos, iones sulfatos y con altas concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro. El lixiviado tiene un olor característico, difícil de ser confundido y olvidado (11).

Los rellenos sanitarios, son de gran riesgo para la salud de las personas que viven cerca de estos, ya que debido a la gran cantidad y variedad de contaminantes, estos son causantes de diversas anomalías, que van desde estaturas bajas, cáncer, leucemias, malformaciones, etc (11).

En los lixiviados debido a las grandes concentraciones de materia orgánica se puede encontrar infinidad de microorganismos, existiendo en este tipo de rellenos un alto grado de contaminación microbiana con riesgo para la salud a poblaciones cercanas a estos.

En la ciudad de Morelia, Michoacán, la disposición final de basura se hace en un relleno sanitario, donde se concentra toda la variedad de desechos de vidrio, papel, plástico, metal, orgánicos y sanitarios, de los cuales solo aquellos que pueden representar un valor económico son rescatados para reciclarlos, tales como; cartón, vidrio, metal y plástico, pero solo orgánicos y sanitarios quedan sepultados en el relleno sanitario donde no se tiene control de los lixiviados y algunos gases emanados (1). Estos lixiviados son los contaminantes más peligrosos ya que contienen una gran cantidad de sustancias orgánicas y metales pesados.

Entre los metales pesados más tóxicos en este tipo de residuos, están el cadmio, plomo, y cromo hexavalente (2). Además, parte de los mantos acuíferos que la abastecen se encuentran cerca del relleno sanitario, y si no se toman las medidas necesarias se puede contaminar el agua (2).

Se recolectaron varias muestras de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Morelia Michoacán, a los cuales se les realizaron diferentes análisis que incluyen DQO, DBO₅, determinación de metales por índice de masas, espectroscopia de absorción atómica e identificación microbiológica.

Las arcillas utilizadas también fueron caracterizadas antes y después del tratamiento del lixiviado para observar si existía algún cambio en su conformación, algunos de estos análisis fueron densidad y medición de área superficial.

Se utilizó un prototipo de acrílico a escala, de 20 cm. de ancho por 20 cm. de alto, 100cm de largo, simulando un canal con una determinada pendiente necesaria para hacer fluir el lixiviado, se trato el lixiviado colocando varias camas de diferentes materiales y en diferente acomodo y proporción, para encontrar la de los mejores resultados.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

El problema de los depósitos de residuos urbanos es uno de los más grandes problemas de la actualidad. La industrialización de la sociedad contemporánea ha dado como resultado un incremento exponencial de la producción de basura per cápita (3). Por ejemplo un extenso depósito en Staten Island, New York, acepta aproximadamente 10,000 toneladas de desechos municipales y comerciales cada día. Afortunadamente el promedio mundial de rellenos sanitarios acepta mucho menos residuos sólidos que en Nueva York. Sin embargo otro problema generado por los residuos sólidos es la lixiviación de contaminantes hacia el sistema de aguas subterráneas local (2).

Probablemente el caso mas documentado de contaminantes debido a residuos tóxicos industriales hacia el suelo y aguas subterráneas es el "Love Canal" situado en un área residencial cerca de las cataratas del Niágara. Por décadas más de 80 diferentes sustancias químicas fueron descargadas en este sitio. Para 1976 derrames de residuos peligrosos aparecieron en el área residencial que se construyó en la cima de este sitio. Lamentablemente el caso del "Love Canal" no es aislado y la contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y de los suelos debido al vertido de residuos industriales se ha vuelto algo común en distintos sitios del mundo (2).

Entre los lixiviados contaminantes más comunes de los rellenos sanitarios se conocen cientos de substancias orgánicas y metales pesados. Entre estos últimos es común la presencia del cadmio, plomo, cromo hexavalente. A pesar de que el cadmio es un elemento poco común en el ambiente natural, sus usos a nivel industrial aumentan cada día. Este elemento es usado como cubierta anticorrosiva para metales y en baterías. Muchos de los metales pesados han extendido su uso a productos de lavandería, papeleras e industrias tabaqueras pero los metales de origen antropogénico presente en el ambiente provienen principalmente de la extracción minera y procesamiento del zinc y otros metales. El cadmio no es esencial para la vida y es uno de los mas tóxicos (las normas para consumo de agua potable en el mundo varían de 0.005 a 0.01 mg/L). Anormalmente altas concentraciones de Cd pueden ser encontradas en ríos y lagos cercanos a zonas mineras e industriales. En México son pocos los estudios que se han realizado de lixiviados provenientes de tiraderos municipales y en particular en la región occidental (zona de Guadalajara) se ha detectado la presencia de Cromo hexavalente en los tiraderos del municipio de Guadalajara (2).

La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (USEPA) ha analizado hasta 200 compuestos diferentes presentes en los lixiviados en los vertederos de residuos sólidos urbanos. Algunos como cloruro de vinilo, cloruro de metilo, tetracloruro de carbono, clorobenzenos (destacando el hexaclorobenceno el más tóxico), y arsénico siendo sustancias cancerígenas, al igual que algunos de los metales mencionados.

La situación actual del relleno de Morelia reviste interés ya que se han encontrado evidencias en cuanto a la vulnerabilidad del acuífero del entorno del relleno a pesar de que una compañía privada (Rizzo y asociados) calificó el sitio como “favorable” en su matriz de selección del sitio. (2)

Las autoridades municipales de la gestión anterior y la actual están al tanto de esta vulnerabilidad por lo que decidieron reubicar el sitio con el fin de construir un relleno que cumpla con la normatividad (2). Este estudio caracteriza la situación actual del tiradero de Morelia y señala las bases técnicas que sustentan la decisión de las autoridades municipales.

1.1 Geología e hidrología de la zona

La región occidente del Municipio de Morelia presenta rasgos estructurales de dirección NE-SO en cuyos límites se tienen las dos principales provincias morfoestructurales, al Sur aflora la Sierra Madre del Sur que en la región de Morelia se le ha denominado Sierra de Mil Cumbres cuyos productos andesíticos, ignimbríticos y basálticos sucesivos fueron emitidos entre 33 y 8 ± 0.2 millones de años.

Al NE-E se observa el lago de Cuitzeo, mientras que el Este y Oeste están limitados por productos volcánicos de edad pliocuaternaria correspondientes al cinturón volcánico Mexicano que en la región está conformada por lavas basálticas altamente fracturadas (5).

En particular, en la ciudad de Morelia el basamento está conformado por rocas ignimbríticas bien cementadas que han sido material para la edificación de la ciudad colonial. En la cima de la ciudad y al Este y Oeste de Morelia se observa una secuencia de depósitos lacustres, fluviolacustres y epiclásticos que va desde el Mioceno superior hasta el Plioceno superior. Estos depósitos han sido detectados en los pozos de la zona.

Ambos tipos de materiales han sido afectados por sistemas de fallas NE-SO y E-O que incluso le dan su morfología actual al lago de Cuitzeo y otorgan la dirección del vulcanismo pliocuaternario en la región.

A nivel local y desde el punto de vista morfológico, la región que comprende el Oeste del Municipio de Morelia está constituida por depósitos de malpaís, lomeríos y colinas en las que resaltan algunos aparatos volcánicos cuaternarios como el volcán el Melón (2640 m.s.n.m), al Norte está limitado por el volcán Quinceo (2,760 m.s.n.m) que ha producido lavas hasta épocas recientes, esto es testimoniado por restos de maíz encontrados cubiertos por las emisiones lávicas (7).

Al suroeste se observa el Cerro el Águila (3.080 m.s.n.m) que es un cono de lava andesítica de edad Plioceno superior-Pleistoceno mientras que al Sur se extiende la cuenca de Morelia (\approx 1,900 m.s.n.m) alargada en dirección NE-SW y drenada por el río grande de Morelia.

La cuenca de Morelia se ha desarrollado siguiendo límites estructurales NE-SO que conforman sistemas de fallas que alinean volcanes tales como los bancos de materiales de Cerritos y el Cerro Pelón. Estas fallas se observan tanto en superficie como en subsuelo.

En la cartografía geológica de la zona de Morelia-Capula se puede observar que los conos cineríticos y las lavas de composición basáltica dominan en la región, todas ellas de edad cuaternaria, entre estas se encuentran los últimos productos del volcán Quinceo que datan de 500,000 años atrás. Las lavas se encuentran altamente fracturadas y no muestran alteración secundaria en las fracturas, estas a veces se intercalan con arenas y gravas producto de los diferentes conos cineríticos contemporáneos a la actividad lávica. Las zonas de aluvión son escasas debido a lo reciente de las emisiones (7). Desde el punto de vista estratigráfico, en la zona de estudio afloran espesores mayores a los 700 m de lavas intercaladas con arenas, gravas y brechas volcánicas, mientras que en subsuelo los datos de las columnas litológicas de los pozos de la región permiten esquematizar la estratigrafía del subsuelo del occidente de la cuenca de Morelia y del límite occidental de la ciudad de Morelia. En general, los depósitos que dominan en superficie son lavas, arenas y gravas intercaladas con esporádicos niveles limo-arcillosos (Fig1). Estos últimos son más abundantes hacia la zona oriente (Itzícuaros) estando casi ausentes al occidente de los Itzícuaros. Los depósitos arcillosos finos pueden corresponder a los límites de una antigua cuenca lacustre.

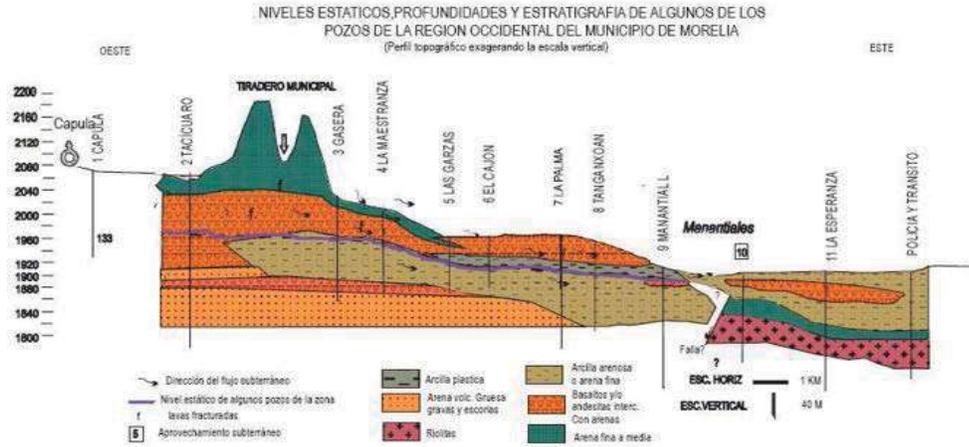


Fig.1 Estratigrafía del subsuelo del occidente del Municipio de Morelia y niveles estáticos y profundidades de algunos pozos de la región.

El relleno sanitario de la ciudad de Morelia, Michoacán, se encuentra en el Km. 14 de la carretera Morelia-Quiroga, en un área porosa y volcánica. Presenta una pendiente aproximada de 15° con respecto a la ciudad de Morelia y está limitado al Este por un cono cinerítico de 60 m de altura del cual se extraen arenas volcánicas y tobas que son la cubierta diaria de los residuos (Fig2). El cono está sobreyacido por lavas altamente fracturadas (8).



Fig. 2 Plano del oeste del municipio de Morelia, altura a la que se encuentra el relleno sanitario.

El tipo de uso que tiene el municipio de Morelia del recurso de agua es urbano domestico y se adquiere de la presa de Cointzio, los manantiales de San Miguel, los manantiales de la Mintzita, el manantial El Salto y de pozos profundos. Hacia el poniente de la ciudad Morelia, sobre la carretera Quiroga a la altura de Las Garzas, existen evidencias de la presencia de contaminantes en pozos de agua, esto supone la necesidad de monitoreos constantes a través de organismos certificados para prevenir posibles daños a la salud humana (8). En los vertederos, se producen reacciones químicas y biológicas entre los constituyentes de la materia orgánica e inorgánica. Los productos tóxicos resultantes son arrastrados por el agua de la lluvia (lixiviados), contaminando el suelo y las aguas subterráneas, o emitidos a la atmósfera (en forma de gases) contaminando el aire (8).

1.2 Contaminación causada por rellenos sanitarios

Los lixiviados pueden presentar un movimiento horizontal, o sea que se desplazará a lo largo del terreno, contaminando y dañando así el suelo y la vegetación del terreno y de zonas aledañas (3). También puede ocurrir un movimiento vertical, que penetre en el subsuelo y en muchas ocasiones, alcance los mantos freáticos y acuíferos, lo que causa gigantescos problemas de contaminación del agua subterránea, principal fuente de abastecimiento de agua potable en las ciudades.

Los lixiviados arrojan un pH de 9 y la presencia de una gran cantidad de sales, lo que se refleja en una alta conductividad eléctrica, en ausencia de oxígeno y en alto contenido de metales pesados, como el cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo y zinc cuyas concentraciones rebasan los límites de toxicidad en agua. Los lixiviados por lo general tienen un aspecto negro, de olor fuerte y penetrante, en las zonas de acumulación presentan una capa superficial de varios centímetros de espuma. Su composición media varía considerablemente según las áreas geográficas, edad del relleno sanitario y tipo de residuos depositados en este, pero todos coinciden en que están compuestos por una alta carga orgánica, siendo esta su principal factor contaminante (8).

1.3 Bioquímica en los rellenos sanitarios.

Un relleno sanitario es un sistema de conversión o estabilización de la basura en el que existe la generación de biogás y lixiviados durante el proceso de conversión; este

biogás y los lixiviados deben capturarse y controlarse para evitar la contaminación del suelo, del agua y del aire (12).

La materia orgánica constituyente de la basura es transformada en los rellenos sanitarios por bacterias facultativas y anaerobias mediante una serie de reacciones que dan por resultado la formación de metano (55%), dióxido de carbono (40%), vapor de agua y otros (5%) (Mezcla gaseosa comúnmente conocida como biogás) (12).

Materia orgánica + bacterias anaerobias \rightarrow CO₂ + H₂O + CH₄ + NH₃ + productos finales reducidos.

El proceso anterior no sólo tiene lugar en los rellenos sanitarios, sino también en los vertederos a cielo abierto, aunque en menor escala. Los factores que influyen en la producción de biogás en un relleno sanitario pueden dividirse en dos: la composición de la basura y los factores físicos ambientales. La basura depositada en los rellenos sanitarios en los países en desarrollo tiende a estabilizarse en un periodo de 10 a 15 años, ya que el alto contenido de material de rápida biodegradación se equilibra aceleradamente, en tanto que los rellenos con alto contenido de papel y cartón tardan 20 años o más, sin contar los plásticos. Dentro de los factores físicos que influyen en el proceso en cuestión está el contenido de humedad dentro del relleno, la temperatura, el pH y la ausencia de aire. La humedad es esencial para el metabolismo celular de las bacterias responsables del proceso, así como del transporte de los nutrientes dentro del relleno. El contenido de humedad del relleno depende de la cantidad inicial de humedad de los residuos, del grado de infiltración de aguas lluvias y de las posibles fuentes subterráneas y, en mucho menor escala, del total de agua producida durante el proceso (12). La temperatura y el pH también afectarán el crecimiento y la actividad de las bacterias dentro del relleno. Las temperaturas imperantes generalmente están comprendidas entre 25° y 40°C, estas temperaturas pueden existir sin ningún problema, independientemente de las existentes en el exterior del relleno. En tanto que el pH debe ubicarse entre valores de 6.8 y 7.2, pues valores de pH inferiores a 6.5 generan acumulación excesiva de ácidos orgánicos, dando por resultado la caída aún mayor del pH, que puede conducir a la interrupción de la producción de biogás durante meses o años (12).

1.4 Plaguicidas y otros químicos producidos en los rellenos sanitarios

Los lixiviados de la descomposición de los compuestos orgánicos de los rellenos sanitarios, también solubilizan plaguicidas, uno de ellos el benceno que causa inmunodepresión, irritación en ojos, en piel y que además se relaciona con malformación congénita, estos efectos negativos se registran en personas que viven cerca de un relleno sanitario (11). En la siguiente tabla (Tabla1) se representan algunos de estos compuestos.

Tabla1. Efectos en la salud humana de compuestos orgánicos volátiles en lixiviados producidos por un relleno sanitario (11).

Plaguicida	Efecto negativo
2,4-D	Sistema respiratorio, reproductor, hígado, riñón nervios, pulmones, irritación en piel, ojos, posible cancerígeno y teratogénico.
Lindano	Sistema reproductor y nervioso, probable cancerígeno.
Pentaclorofenol	Sistema respiratorio, irritaciones ojos, piel hígado, riñón, teratogénico.
Benceno	Sistema inmunológico y gastrointestinal, en células de la sangre, alergias, irritación en ojos y la piel. Probable cancerígeno y teratogénico.
Cloroformo	Sistema inmunológico y gastrointestinal, en células de la sangre, alergias en ojos y piel, probable cancerígeno y teratogénico.
1-1-dicloroetano	Sistema nervioso central, hígado, riñón, embriotóxico.
Etilbenceno	Sistema nervioso central, respiratorio, riñón, hígado, ojos y piel.
Cloruro de metileno	Sistema nervioso central, respiratorio, riñón, hígado, ojos y piel.
Tetracloroetileno	Sistema nervioso central, respiratorio, riñón, hígado, ojos y piel.
Tolueno	Sistema nervioso central, respiratorio, riñón, hígado, irritación de piel, ojos, alergias, posible cancerígeno.
Tricloroetileno	Sistema nervioso central, cardiovascular, respiratorio, riñones e hígado, células de sangre, irritación de piel, ojos alergias posible cancerígeno y teratogénico.
1,12-tricloroetileno	Sistema nervioso central, respiratorio, hígado, riñón, irritación en ojos y piel, cancerígeno.
Cloruro de vinilo	Sistema nervioso central, respiratorio, hígado, y riñón irritación en ojos y piel, en células de la sangre, cancerígeno, posible teratogénico.
Xileno	Sistema nervioso central, respiratorio, cardiovascular, en hígado, y riñón irritación en ojos.

1.5 Metales pesados

Los metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor a la del agua. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de reproducción de bienes y servicios. Los más comunes son arsénico (As) metaloide que se estudia en el grupo de los metales, cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), hierro (Fe), plomo (Pb), estaño (Sn), zinc (Zn).

Se definen como metales tóxicos aquellos, cuyas concentraciones en ambiente puede causar daños en la salud de las personas.

Algunos de estos metales son indispensables en bajas concentraciones, ya que forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, zinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades, su exceso intoxicaciones (Tabla 2).

En la siguiente tabla (Tabla 2) se muestran algunos límites tolerables en lixiviados.

Tabla 2: límites tolerables de metales en lixiviado. NOM -052-SEMARNAT-1993

Metal	mg/l
As	5.0
Cd	1.0
Cu	2.00
Cr	5.0
Hg	0.2
Pb	5.0
Mn	0.5
Zn	0.5
Fe	0.2
Ni	5.0

El desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos, provoca la presencia de muchos metales en cantidades importantes en el ambiente, provocando numerosos efectos sobre la salud y el equilibrio del ecosistema. Se incorporan en alimentos o como partículas que se respiran y se van acumulando en el organismo, hasta llegar a límites tóxicos (Tabla 3). Si la incorporación es

lenta se producen intoxicaciones crónicas, que dañan los tejidos u órganos en los que se acumulan (11).

Efecto toxico y enfermedades causadas por algunos metales pesados (Tabla3).

Tabla 3: efecto toxico de algunos metales (11)

Metal	Efecto negativo en:
Arsénico	Sistema cardiovascular, respiratorio, nervioso periférico, reproductivo, daños en el hígado, riñón, cancerígeno; potencialmente teratogénico.
Cadmio	Sistema nervioso central, reproductivo y respiratorio, riñón, probable cancerígeno, teratogénico, embriotóxico.
Cromo	Sistema respiratorio, alergias, irritación en ojos, cancerígeno, probable mutagénico.
Plomo	Sistema nervioso central y reproductivo, en células de la sangre, probable teratogénico.
Mercurio	Sistema nervioso central, cardiovascular y respiratorio, riñón, ojos, teratogénico.
Níquel	Sistema respiratorio, alergias, irritación de ojos, piel, hígado, riñón, probables cancerígeno y teratogénico.

1.6 Adsorción

La adsorción es la transferencia selectiva de uno o más solutos (adsorbato) de una fase fluida a una de partículas sólidas (adsorbente). La selectividad común de un adsorbente entre el soluto y el fluido portador o entre varios solutos, hace posible la separación de ciertos componentes presentes en el fluido. En forma similar, en la operación inversa, llámese desorción, se realiza a menudo la separación de las especies que se encontraban

originalmente en el sólido. En general, la adsorción incluye la acumulación de moléculas de soluto en una interfase (13).

La acumulación por unidad de área es pequeña; por consiguiente se prefieren los sólidos altamente porosos con áreas internas muy grandes por unidad de volumen. Generalmente las superficies son irregulares y las energías del enlace debidas básicamente a las fuerzas de Van der Waals. Los adsorbentes pueden ser materiales naturales o sintéticos de estructura amorfa y/o macrocristalina. Los utilizados en gran escala incluyen el carbón activado, la alumina activada, el gel de sílice, otras arcillas etc.

El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia (13).

1.7 Intercambio iónico

Es una reacción química en el que los iones móviles hidratados de un sólido son intercambiados equivalentemente, por iones de igual carga en solución. El sólido tiene una estructura de red de pesca abierta y los iones móviles neutralizan eléctricamente a los grupos cargados, o potencialmente cargados que están adheridos a la matriz sólida, conocido como intercambiador iónico. El intercambio de cationes ocurre cuando el catión móvil, cargado positivamente y unido al grupo cargado negativamente, está a su vez fijo en el intercambiador iónico, se cambia por otro catión en solución. De modo semejante, el intercambio aniónico ocurre cuando el anión móvil, cargado negativamente y unido a un grupo unido positivamente y fijo sobre la resina intercambiadora, se intercambia por otro anión en la solución (13).

En el intercambio iónico, la fase sólida contiene grupos enlazados o unidos que portan una carga iónica, ya sea positiva o negativa, en combinación con iones libres de carga opuesta que se pueden desplazar. Los primeros intercambiadores iónicos fueron polímeros de silicatos inorgánicos de tipo microcristalino; zeolitas o arenas verdes, que se relacionaban con los tamices moleculares. La mayoría de los intercambiadores iónicos que se utilizan hoy en día se basan en resinas sintéticas, casi siempre poliestireno copolimerizado con divinilbenceno (para conferir la cantidad necesaria de enlaces cruzados); son permeables solo a dimensiones moleculares, excepto cuando se superponen deliberadamente en una red de poros más bastos (13).

CAPITULO 2

MATERIALES UTILIZADOS

2.1 ARCILLAS

Las arcillas son filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades fisico-químicas dependen de su estructura y de un tamaño de grano muy fino, inferior a $2\mu\text{m}$. Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan. Las propiedades de las arcillas son consecuencia de sus características estructurales (15).

Las arcillas, al igual que el resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos (Fig. 3). Los grupos tetraédricos $(\text{SiO})_4^{4-}$ se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$, que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por Al^{3+} o Fe^{3+} . Estas capas tetraédricas se unen a otras octaédricas de tipo gibbsita o brucita. En ellas algunos Al^{3+} o Mg^{2+} , pueden estar sustituidos por Fe^{2+} o Fe^{3+} y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encontraban sin compartir con otros tetraedros (oxígenos apicales), y por grupos $(\text{OH})^-$ de la capa brucítica o gibsitica, de forma que, en este plano, quede un $(\text{OH})^-$ en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los $(\text{OH})^-$ son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros (15).

Así, los filosilicatos pueden estar formados por dos capas: tetraédrica más octaédrica y se denominan bilaminares, 1:1, o T: O; o bien por tres capas: una octaédrica y dos tetraédricas, denominándose trilaminares, 2:1 o T: O: T. A la unidad formada por la unión de una capa octaédrica más una o dos tetraédricas se la denomina lámina (15).

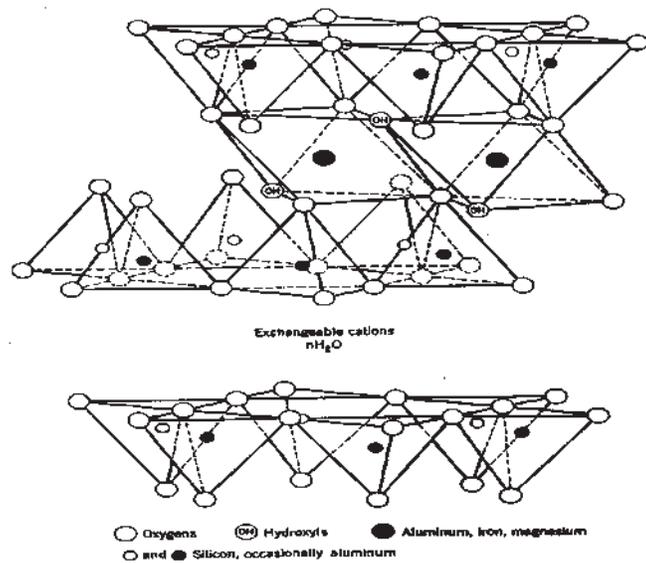


Fig.3 estructura tetraédrica de una arcilla.

Existen muchos tipos de arcilla que se conocen como sigue:

Arcilla figulina: es aquella que contiene impurezas como la arena, la caliza y los óxidos de hierro.

Arcilla refractaria: es rica en óxidos metálicos y tiene la propiedad de ser muy resistente al calor.

Arcilla roja: esta clase la integra generalmente un depósito de tipo marino formado por los restos de materiales calcáreos y ferrígenos, polvo volcánico, restos de esponjas silíceas, dientes de tiburón, etc. El color rojizo proviene por lo común de sus componentes férricos. Se ha encontrado que estos depósitos son muy extensos.

Arcilla ferruginosa: contiene en su composición diferentes cantidades y tipos de óxido de hierro y puede ser de color amarillo, ocre e inclusive negra (tierras de Siena) debido al óxido de hierro hidratado, mientras que las arcillas rojas contienen, por lo general, un óxido conocido como hematita. Esta particularidad de las arcillas explica por qué en algunas regiones el barro es negro o rojizo, lo cual incide en los colores de la cerámica que se fabrica a partir de estos materiales. Recordemos en este punto al barro negro de Oaxaca, tan distinto de la cerámica ocre o rojiza de la zona central del valle de México.

Arcilla magra y arcilla grasa: estos materiales contienen cierto grado de impurezas, lo que afecta sus propiedades plásticas, es decir, que a mayor contenido de impurezas se obtiene una pasta menos plástica (arcilla magra) al amasarla con agua.

Arcilla de batán: llamadas también tierra de batán, debido al uso que tuvieron en el "batanado" de las telas y de las fibras vegetales como el algodón. Este proceso consistía en limpiar las fibras formadas en la máquina (batán) eliminando la materia grasa mediante la adición de arcilla, por lo general del tipo esmectita, cuyo nombre proviene del griego smektikós: "que limpia".

Arcilla magra: es un material impermeable y frágil, con un contenido de caliza de entre 20 y 60%, aproximadamente.

Arcillas de esquisto o pizarra: las constituyen formaciones antiguas que se presentan en forma de estratos o de plaquetas paralelas que se han dividido por la presión del suelo.

Arcilla atapulgita: también conocida como tierra de Florida o floridrín, aunque algunas veces se la llamó tierra de Fuller. El último apelativo se empleó también para denominar a las sepiolitas. Actualmente la atapulgita es llamada paligorskita.

Arcilla bentonita: nombre comercial de las arcillas tipo montmorillonita, las que, tratadas con compuestos químicos aminados (p.ej. dodecilamonio) se vuelven repelentes al agua (hidrófobas), aunque mantienen gran afinidad por las especies orgánicas, en particular los aceites, las grasas y los colorantes o pigmentos naturales. El nombre bentonita proviene de Fort Benton, Wyoming, EUA, donde W. C. Knight descubrió un enorme yacimiento de este tipo de arcilla en 1896 (16).

2.2 Bentonita

Una bentonita es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, independientemente de cualquier connotación genética (15).

Los criterios de clasificación utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades físico-químicas; así la clasificación industrial más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua:

- _Bentonitas altamente hinchables o sódicas
- _Bentonitas poco hinchables o cálcicas
- _Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias

Caolines y arcillas caoliníferas: Un caolín es una roca que contiene una cierta proporción de minerales del grupo de caolín, que puede ser económicamente extraída y

concentrada. Se trata, generalmente, de una arena caolinífera, granito. Caolinitizado, que es necesario procesar para enriquecer en minerales del grupo del caolín.

La arcilla caolinífera es también un caolín en sentido amplio. Igualmente, se trata de una arcilla compuesta, fundamentalmente, de minerales del grupo del caolín. Esta no se procesa, se usa tal cual, e inicialmente los porcentajes en minerales del grupo del caolín son más altos que en el caolín (>50%).

El caolín, tal como se obtiene en una explotación mineral (caolín bruto/todo uno) posee un contenido variable de caolinita y/o halloysita que, a veces no llega al 20 %, además suele tener cuarzo, feldespatos, micas, y, dependiendo de la roca madre otro tipo de minerales accesorios. Para concentrar el mineral es preciso someterlo a diferentes procesos que eleven el contenido en filosilicatos por encima del 80 %. El producto final, generalmente, recibe el nombre de caolín lavado (15).

2.3 Zeolita

Las zeolitas son aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 Å. Contienen iones grandes y moléculas de agua con libertad de movimiento, para así poder permitir el intercambio iónico. Existen varios tipos de zeolita, nueve principales, y que surgen en las rocas sedimentarias:

- Chabazita
- Clinoptilolita
- Erionita
- Mordenita
- Estilbita
- Ferrierita
- Filipsita
- Huelandita
- Laumantita

Estas zeolitas se encuentran constituidas por aluminio, silicio, hidrógeno, oxígeno y un número variable de moléculas de agua. La zeolita tiene uso como intercambiador iónico; la mayor parte de los intercambios iónicos se llevan a cabo a través de la solución acuosa, por lo cual se utiliza para ablandar aguas y en tratamientos de aguas residuales.

Las zeolitas, debido a sus poros altamente cristalinos, se consideran un tamiz molecular, pues sus cavidades son de dimensiones moleculares, de modo que al pasar las aguas duras, las moléculas más pequeñas se quedan y las más grandes siguen su curso, lo cual permite que salga un líquido más limpio, blando y cristalino. Su estructura cristalina está formada por tetraedros que se reúnen dando lugar a una red tridimensional, en la que cada oxígeno es compartido por dos átomos de silicio, formando así parte de los minerales tectosilicatos (17).

2.4 Tezontle

El tezontle es una roca volcánica extrusiva (Fig. 4). Es un bióxido de hierro; su textura es vesicular, burbujeada y porosa. Es una roca de origen volcánico, puede ser de color rojo o negro, ofrece buen drenaje, casi nulo aporte de nutrientes y un pH ligeramente neutro. Entre sus propiedades se encuentra la de guardar el calor, pero no es permeable ni aislante. Algunos de los usos que se le da a esta roca son: arreglos florales, construcción de baños de temascal, construcción de hornos de barbacoa y de pan, para fabricar el tabicón negro. Molido se usa para relleno de calles de terracería y como fachada de algunas casas.



Fig.4 Obtención del tezontle.

2.5 Diatomita

La diatomita es un mineral de origen sedimentario y organogénico, de composición silíceo, formado esencialmente por frústulos (exoesqueletos) de diatomeas (algas microscópicas del orden *Bacillaria*). En su estructura cristalina se ubican pequeñas cantidades de álcali, (Na, CaO, K₂O), alúmina (Al₂O₃), óxido de hierro (Fe₂O₃), y otras

sustancias. Además, se presentan impurezas entre los frústulos, tales como materia orgánica, sales solubles, granos de arena, arcillas diversas y carbonatos (18).

Presenta diversos grados de consolidación; principalmente esta constituida de restos fosilizados de diatomeas. La diatomita representa una forma única de sílice. La diatomita pura esta formada por sílice opalina o hídrica, presentando en solución sólida o como una parte esencial del complejo de ópalo, pequeñas cantidades de componentes inorgánicos asociados (alumina, hierro, tierras alcalinas, metales alcalinos) y otros constituyentes menores. La diatomita también contiene cantidades inusuales de agua libre, la cual puede variar de 10% a 60% o más. Los depósitos más importantes del mundo, se caracterizan por ser depósitos del tipo seco, en donde la diatomita se presenta como material de peso liviano.

El valor de la diatomita sin tratamiento se basa principalmente en la naturaleza de las partículas diatomáceas, contenido de sílice, carbonatos, argellita o impurezas solubles y el grado de compactación del manto o estrato. Estos factores se reflejan en la densidad aparente, capacidad de absorción, friabilidad y conformación petrográfica del manto. En general, la diatomita es extremadamente porosa, presenta baja conductividad de calor y electricidad, químicamente inerte; capaz de absorber y retener gran cantidad de líquidos con los cuales tiene grandes superficies de contacto (18).

2.5.1 Características y usos.

Filtración: El uso más importante y espectacular de la diatomita es como ayudante de filtración para la clarificación y purificación de una gran variedad de líquidos en el proceso químico, metalúrgico, alimentos, fármacos, bebidas, petróleo y otras industrias. Las partículas de un producto apropiado de diatomitas molidas permiten, en el proceso de filtración, la formación de una torta de poros abiertos en el cual las impurezas o partículas suspendidas son capturadas, supliendo de esta manera un filtrado bien clarificado libre de tales impurezas. Existen varios grados de diatomita de varios tamaños y formas de partículas, los cuales forman tortas de diferentes porosidades y capacidades de filtración (18).

Aislamiento: La diatomita utilizada como materia prima para la manufactura de elementos de estructuras aislantes del calor y frío, incluye ladrillos, bloques y cementos. La diatomita aislante y ladrillos refractarios se utilizan en la construcción de hornos, calentadores y otros equipos de tratamiento térmico.

Uno de los usos importantes de la diatomita es cuando actúa como soporte o agente para llevar a efecto el proceso de catálisis. Para el primer caso, se tiene la notable catálisis del vanadio para oxidación del dióxido de azufre en la fabricación de ácido sulfúrico; el segundo caso ocurre en la catálisis de tierra diatomácea para los procesos de hidrogenación de níquel. También actúa como promotor de reacciones, en la ruptura de emulsiones, en procesos de asentamiento; en fundición para lavado de moldes o compuesto de partición.

Los usos de la diatomita como absorbente ocurre en múltiples procesos: desinfectantes químicos; cartuchos de dinamita solidificada; materiales granulares en combinación con agentes desecantes, particularmente silicatos de tierras alcalinas; limpiadores industriales de pisos; empaques y despacho de materiales líquidos; manufactura de sintéticos ultramarinos y pigmentos similares.

La relativa suavidad pero efectiva acción de la diatomita constituye el componente abrasivo en la formulación de limpiadores para obtener el acabado de pulimento y brillo de automóviles y metales en general. La diatomita también es de uso preferencial como agente acondicionante para prevenir el endurecimiento y/o adherencia del nitrato de amonio de uso en la agricultura y otros productos químicos fertilizantes; así como de diversos materiales industriales (18).

Materiales Estructurales: En el campo de los materiales de construcción, la diatomita se utiliza en la fabricación de varios tipos de ladrillos, placas/tabiques, los mismos que pueden ser unidos con diferentes materiales incluyendo arcillas, cemento portland, yeso, cal o magnesia. Adicionalmente los morteros, argamasas, enlucidos y estucos contienen tierras diatomáceas. También, en combinaciones procesadas de ingredientes activos de superficie y entrapamiento de aire con diatomita, se ha logrado obtener una composición adecuada de baja capacidad de retención de agua, mejorando la calidad del concreto.

Las mezclas de diatomitas constituyen excelentes composiciones en la perforación de pozos petrolíferos, ya sea como modificador de los lodos de perforación o bien para la cementación de los huecos de perforación. Existen más de 10.000 variedades de diatomitas (18).

Propiedades térmicas: El punto de fusión de las diatomitas se encuentra generalmente entre 1.500° y 1.600° C. Para ciertas calidades impuras el punto de fusión desciende, entre los 1.200° a 1.300° C. El punto de reblandecimiento se halla vecino a los 1.100 °C. Se admite que una diatomita ofrece el máximo de porosidad y de poder

absorbente de líquidos y gas cuando se encuentra a temperatura más elevada. La diatomita se transforma en Yridimita a los 871°C y después en Cristobalita. El índice de refracción de la diatomita es variable, pero se encuentra entre 1.44 y 1.46 (18).

Porosidad y poder absorbente: la diatomita con grado de porosidad elevada o de gran poder absorbente es muy importante en cuanto a sus cualidades como aislante. Este poder de absorción se determina mediante la diferencia de agua absorbida y puede ser traducida de peso o como coeficiente de absorción que constituye la expresión en centímetros cúbicos de agua absorbida por gramo de producto seco. Como consecuencia de su coeficiente de conductibilidad extremadamente reducido, y la resistencia permanente a las temperaturas más variables, la diatomita llega a formar el aislante más racional y más ampliamente utilizado (18).

Características mineralógicas y químicas de las diatomitas: Las diatomitas usadas como materia prima varían aproximadamente dentro de los parámetros mostrados en la (Tabla 4).

Tabla 4: propiedades químicas de la diatomita.

Químicos	%	%
SiO ₂	72..60	68.9
Al ₂ O ₃	5.3	4.9
Fe ₂ O ₃	2.0	5.2
OK2	0.1	0.4
MgO	0.6	0.4
Na ₂ O	0.3	1.2
CaO	3.6	2.4
P.P.C (Pérdida por calor)	15.4	16.3

Peso Aparente por caída libre de la diatomita: 0.21 g/cm³

Caracteres Organolépticos: color blanco cremoso, insípido molido suave de fácil deslizamiento.

CAPITULO 3**TECNICAS DE CARACTERIZACION****3.1 Índice de masas**

El espectrómetro de masas (MS) es un instrumento que permite analizar con gran precisión la composición de diferentes compuestos y sustancias, separando los núcleos atómicos en función de su masa y carga (m/z). Puede utilizarse para identificar diferentes compuestos químicos presentes en una muestra o su contenido isotópico. Con frecuencia se encuentra como detector de un cromatógrafo de gases, en una técnica híbrida conocida por sus iniciales en inglés GC-MS.

A diferencia del detector termoiónico, el espectrómetro de masas tiene una gran versatilidad, siendo una de las técnicas, a menudo la única, más universalmente adaptable para la identificación de sustancias desconocidas.

Funcionamiento

El espectrómetro descompone la muestra en distintos iones, que analiza en función de la carga y masa de los mismos iones de distinta masa toman radios de desvío diferentes, alcanzando distancias diferentes en el detector.

Los iones son enviados a un compartimento de aceleración y se pasan a través de una lámina metálica. Se aplica un campo magnético a un lado del compartimento que atrae a cada uno de los iones y se desvían sobre un detector. Con la misma carga, los iones más ligeros serán desviados con más fuerza que los más pesados. El detector mide exactamente cuan lejos se ha desviado cada ion, y a partir de ese dato, se calcula el cociente masa por unidad de carga (m/z).

3.2 Espectroscopía de absorción atómica (AAS)

La espectroscopía de absorción atómica es un método que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga (Fig.5).

La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito es hecha por

el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

En la AAS, la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito en la muestra. Un horno para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla se utiliza comúnmente hoy día para aumentar la sensibilidad. El método del horno de grafito puede también analizar algunas muestras sólidas o semisólidas. Debido a su buena sensibilidad y selectividad, sigue siendo un método de análisis usado comúnmente para ciertos elementos traza en muestras acuosas (y otros líquidos) (20).

El aerosol formado por el flujo del gas oxidante, se mezcla con el combustible y se pasa a través de una zona de deflectores que eliminan las gotitas que no sean muy finas. Como consecuencia de la acción de estas, la mayor parte de la muestra se recoge en el fondo de una cámara y se drena hacia un contenedor de desechos. El aerosol, el oxidante y el combustible se queman en un mechero provisto de una ranura de 1 mm o 2mm de ancho por 5 ó 10 mm de longitud. Estos mecheros proporcionan una llama relativamente estable y larga, estas propiedades aumentan la sensibilidad y la reproducibilidad.



Fig.5 Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

La señal del detector aumenta al máximo algunos segundos después de la ignición y cae rápidamente a cero cuando los productos de atomización salen. Los métodos analíticos

basados en la absorción atómica son específicos, ya que las líneas de absorción atómica son considerablemente estrechas (de 0,002 a 0,0005 nm) y las energías de transición electrónica son específicas de cada elemento.

El detector es el dispositivo encargado de captar la señal óptica proveniente del monocromador y transformarlo en una señal electrónica capaz de ser convertida en un valor legible. El más común es el foto multiplicador, tubo de vacío provisto de placas fotosensibles que recibe los fotones, los convierte en impulsos electrónicos y multiplica hasta obtener la suficiente intensidad eléctrica (20).

3.3 Determinación de área superficial

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g . Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

La adsorción física (o fisisorción) de gases y vapores (adsorbatos) en sólidos (adsorbentes) es una de las técnicas más usadas para el estudio de la textura porosa de sólidos de todo tipo, aunque no es la única (Fig.6).

Existen otras técnicas como la porosimetría de mercurio, técnicas calorimétricas, difracción de rayos-X, microscopía electrónica, etc. Aunque estas últimas permiten el estudio de la porosidad en un intervalo algo más restringido.



Fig.6 Analizador de área superficial.

En la caracterización de la textura porosa de un sólido los parámetros a determinar son el área superficial (o superficie específica) y el volumen y la distribución de tamaño de poros.

Para la determinación de estos parámetros se puede recurrir, entre otros, a la adsorción de un gas (N_2 , CO_2 , hidrocarburos, etc...) a temperatura constante (para N_2 77K, para CO_2 273K, etc...), obteniéndose así la isoterma de adsorción. Dicha isoterma puede determinarse gravimétricamente (se mide la ganancia de peso experimentada por la muestra, como consecuencia de la adsorción, a cada presión relativa de gas) y/o volumétricamente (la cantidad adsorbida se calcula mediante la aplicación de las leyes de los gases a la presión y volumen de adsorbato antes y después de la adsorción).

El área superficial así como el volumen y distribución de tamaño de poro puede obtenerse a partir del análisis de las isotermas de adsorción, para lo cual se han desarrollado diversos métodos.

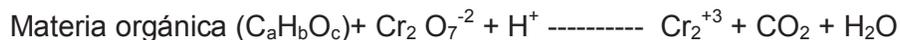
Los poros se clasifican, de acuerdo con la IUPAC, en:

- Microporos, con diámetro inferior a 2 nm.
- Mesoporos, con diámetros comprendidos entre 2 y 50 nm.
- Macroporos, con diámetros superiores a 50 nm.

Mediante la isoterma de N₂ se obtiene información de poros desde 35 Å hasta 4000 Å, mientras que con la isoterma de CO₂ se obtiene información de la microporosidad más estrecha.

3.4 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica no biodegradable y oxidable presente en un agua residual mediante la adición de un oxidante fuerte. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de contaminación del vertido. En el ensayo se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El dicromato de potasio proporciona excelentes resultados en este sentido. El ensayo debe hacerse a elevadas temperaturas. Para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador (sulfato de plata). Puesto que algunos compuestos interfieren con el desarrollo normal del ensayo, deben tomarse medidas adecuadas para eliminarlos antes del ensayo. En el caso de emplear dicromato como agente oxidante, la principal reacción química que tiene lugar es la siguiente:



El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO₅, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica (21,22).

Principio del método: Una gran cantidad de compuestos orgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇). Después de la digestión el dicromato no diluido se mide por titulación o espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente (23).

Existen distintas formas de disminuir la DQO como los tratamientos fisicoquímicos, la electrocoagulación y el ozono.

3.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es la cantidad de oxígeno que necesitan una población microbiana heterogénea para degradar (oxidar) la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. Es por tanto una medida del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos. Los resultados del ensayo de la DBO₅ se emplean para: 1) determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, 2) dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, 3) medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento, y 4) controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (22).

Con el fin de asegurar la factibilidad de los resultados obtenidos, es preciso diluir convenientemente la muestra con una solución especialmente preparada de modo que se asegure la disponibilidad de nutrientes y oxígeno durante el periodo de incubación. Normalmente se suelen preparar diversas soluciones para cubrir todo el intervalo de posibles valores de la DBO₅ (Tabla 5).

Este método está basado en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI, la cual establece el método de análisis para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales, y residuales tratadas. Se determina la cantidad de oxígeno utilizada por una población microbiana heterogénea para transformar la materia orgánica en un periodo de incubación de 5 días a 20°C.

El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales, residuales, y residuales tratadas. Para la determinación del oxígeno disuelto, se puede emplear cualquiera de los dos métodos establecidos en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI (25).

Tabla 5: diluciones para DBO₅ (22).

DBO ₅ medible con diferentes diluciones de muestra			
Empleando mezclas porcentuales		Por pipeteo directo a botellas de 300 ml	
%	Intervalos de valores de la DBO	Mililitros (ml)	Intervalo de valores de la DBO
0,01	20.000-70.000	0,02	30.000-105.000
0,02	10.000-30.000	0,05	12.000-42.000
0,05	4.000-14.000	0,10	6.000-21.000
0,1	2.000-7.000	0,20	3.000-10.500
0,2	1.000-3.500	0,50	1.200-4.200
0,5	400-1.400	1,0	600-2.100
1,0	200-700	2,0	300-1.050
2,0	100-350	5,0	120-420
5,0	40-140	10,0	60-210
10,0	20-70	20,0	30-105
20,0	10-35	50,0	12-42
50,0	4-14	100,0	6-21
100,0	0-7	300,0	0-7

Es necesario, por tanto, controlar estos parámetros para asegurar una buena calidad de vertido a la vez que cumplimos con las normativas legales sin crear alteraciones medio ambientales poniendo en peligro nuestro ecosistema. Para reducir la DBO₅ de un vertido lo más adecuado son los procesos biológicos dentro de los cuales nos encontramos con distintas alternativas. Los procesos aerobios se basan en microorganismos que en presencia de oxígeno transforman la materia orgánica en gases y en nueva materia celular que usan para su propio crecimiento y reproducción.

Otro tipo de procesos a utilizar en la degradación de la materia orgánica son los procesos anaerobios, en este caso en ausencia total de oxígeno. Mediante estos tratamientos se obtienen gases que pueden ser aprovechados para uso energético como el metano (22).

3.6 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

3.6.1 Tinción Gram.

Por lo general las bacterias son transparentes en su estado natural, por lo cual se dificulta su análisis. Cuando se pretende examinar sus detalles morfológicos, se recurre al uso de distintos colorantes para observar las estructuras que poseen. La agrupación preliminar de las bacterias se basa en su morfología y en la forma que reacciona ante los procedimientos de tinción. La coloración en sí es una reacción entre los colorantes y los constituyentes de las bacterias (26).

La tinción¹³ Gram es la más usada en los laboratorios de microbiología. Las bacterias se tiñen de gram positivas o gram negativas de acuerdo a la composición de su pared celular.

- a) Las bacterias Gram positivas poseen en su pared una gran cantidad de peptidoglicano, ácido teicoicos y muy pocos lípidos, por lo que al añadir el mordiente lugol, el colorante se une a la pared de la bacteria formando un complejo cristal violeta-yodo, el cual queda atrapado por la bacteria y no se elimina por la acción del decolorante; es así como retienen el colorante primario apareciendo de color violeta. Se plantea que el cristal violeta se une a los ácidos teicoicos de la pared de las Gram positivas haciéndolos menos permeables a los solventes orgánicos como el decolorante alcohol-cetona, por su bajo contenido en lípidos. Hay factores que alteran esta situación como son: edad del cultivo, presencia de algunos antibióticos etc (26).
- b) Las bacterias Gram negativas tienen una capa de peptidoglicano delgada y fina en la doble capa de la membrana externa de fosfolípidos, lipopolisacáridos, y proteínas. Por lo tanto poseen una elevada cantidad de lípidos y no tienen ácidos teicoicos. La membrana externa (por su alto contenido de lípidos) es dañada por acción del solvente orgánico, permitiendo al complejo cristal violeta-yodo sea barrido y se reemplace por otro colorante que, en este caso, es la safranina (colorante de contraste) (26).

La tinción Gram es un método universal y clasifica a las bacterias en Gram positivas y Gram negativas, no se puede saber género y especie en una tinción solo se sabe si es coco o bacilo, y si es Gram positivo o Gram negativo (26).

Material

- Solución cristal violeta
- Solución lugol
- Solución alcohol cetona
- Solución de safranina
- Portaobjetos
- Microscopio
- Asa
- Puentes de coloración
- Muestra a identificar

Procedimiento

- 1- Marcar la laminilla portaobjetos para su identificación
- 2- En el portaobjetos, marcar dos círculos con lápiz grueso, y colocar dentro de cada círculo una gota de solución salina.
- 3- Esterilizar el asa de inoculación y dejarla enfriar
- 4- Colocar con el asa estéril una porción pequeña de muestra y suspender en la gota de solución salina colocada previamente en el portaobjetos; mezclar suavemente.
- 5- Esterilizar el asa de inoculación, dejarla enfriar y repetir el paso 4 en el otro extremo del porta objetos.
- 6- Esterilizar nuevamente el asa, y permitir que seque al aire libre.
- 7- Fijar la preparación, pasándola tres o cuatro veces a través de la flama del mechero; evitar un calentamiento excesivo.
- 8- Colocar la preparación sobre el puente de vidrio, en charola para tinciones.
- 9- Cubrir la preparación con cristal violeta durante un minuto.
- 10- Lavar la preparación con agua corriente de la piseta para retirar el exceso de colorante.
- 11- Cubrir con lugol durante un minuto.
- 12- Lavar con agua corriente de la piseta.
- 13- Tomar el frotis con los dedos índice y pulgar y decolorar con alcohol-cetona, rápidamente.
- 14- Lavar con agua corriente de la piseta.
- 15- Cubrir con safranina con espacio de 30 segundos.
- 16- Lavar con agua corriente de la piseta.
- 17- Secar preparación al aire libre.

18- Observar al microscopio y hacer las anotaciones correspondientes con el objetivo de 100x.

- Microscopía: Las actividades en esta área forman parte de los procesos de identificación, para lo cual se realizan diferentes preparaciones y tinciones específicas para grupos particulares de microorganismos.
- Preparación de medios de cultivo: Aquí se elaboran los diferentes medios de cultivo, ya sea líquidos o agares, que se utilizan para la identificación, cuantificación y evaluación de los diferentes microorganismos a determinar, en los lixiviados.
- Inoculación de medios de cultivo: En un ambiente estéril, la muestra es sembrada en medios de cultivo específicos para la determinación y cuantificación de los diferentes grupos de microorganismos.

3.6.2 Pruebas bioquímicas

Como parte del proceso de identificación de los microorganismos, se realizaron pruebas bioquímicas que en conjunto proporcionan información sobre su identidad.

Las pruebas bioquímicas consisten en distintos test químicos aplicados a medios biológicos, los cuales, conocida su reacción, nos permiten identificar distintos microorganismos presentes. Su sistema de funcionamiento generalmente consiste en determinar la actividad de una vía metabólica a partir de un sustrato que se incorpora en un medio de cultivo y que la bacteria al crecer incorpora o no. Para realizar este estudio se dispone de múltiples medios, los cuales se deben aplicar de acuerdo a las exigencias de cada microorganismo a identificar (27).

Estas pruebas de identificación son: catalasa, oxidasa, TS (triple azúcar hierro), LIA (agar lisina hierro), citrato, MIO (motilidad-indol-ornitina), fenil alanina desaminasa, rojo de metilo, Voges Proskauer, y ureasa.

Catalasa: Se utiliza para comprobar la presencia del enzima catalasa que se encuentra en la mayoría de las bacterias aerobias y anaerobias facultativas que contienen citocromo.

Procedimiento.

Con el asa de siembra recoger el centro de una colonia pura de 18-24 horas y colocar sobre un portaobjetos limpio de vidrio.

Agregar con gotero o pipeta Pasteur una gota de H₂O₂ al 30% sobre el microorganismo sin mezclarlo con el cultivo.

Observar la formación inmediata de burbujas (resultado positivo).

Desechar el portaobjetos en un recipiente con desinfectante.

Si se invierte el orden del método (extender la colonia sobre el agua oxigenada) pueden producirse falsos positivos (29).

Oxidasa: El objetivo de la prueba "Oxidasa" es buscar la presencia de la enzima Citocromo C oxidasa. Se trata de un enzima que oxida el *citocromo C* de la cadena transportadora de e⁻. Este se detecta utilizando el *tetra para fenilendiamina*: el reactivo de oxidasa contiene este compuesto que va a ser oxidado por la *citocromo C oxidasa*. En estado reducido es incolora, pero cuando se oxida vira a púrpura.

Procedimiento.

Con un pequeño papel de filtro añadimos reactivo de Kovacs, lo impregnamos y a partir del tubo con la bacteria problema tomamos un poco con el asa de platino y ponemos en el papel. Tras unos 30 segundos, observamos si ha ocurrido algún cambio.

Las bacterias que dan positivo a esta prueba tienen generalmente un ciclo respiratorio oxidativo. Se considera positiva esta prueba cuando toma un color púrpura la muestra. (29)

TSI (Triple Azúcar Hierro): El TSI es un medio nutriente y diferencial que permite estudiar la capacidad de producción de ácido y gas a partir de glucosa, sacarosa y lactosa en un único medio. También permite la identificación de la producción de SH₂.

Esta es una prueba específica para la identificación a nivel de género en la familia *Enterobacteriaceae*, con objetivo de diferenciar entre:

- bacterias fermentadoras de la glucosa
- bacterias fermentadoras de la lactosa
- bacterias fermentadoras de sacarosa

- bacterias productoras de SH₂ a partir de sustancias orgánicas que contengan azufre.

Procedimiento.

Inocular los tubos de TSI con punta (alambre recto). Para eso introducir la punta hasta 3 a 5 mm del fondo del tubo. Tras retirar el alambre del fondo, estriar el pico con un movimiento hacia uno y otro lado. Incubar a 35° durante 24 horas. Posteriormente se debe medir el pH de los cultivos. (27)

MIO (Motilidad-Indol-Ornitina): Esta prueba bioquímica permite identificar bacterias de acuerdo a su motilidad a la reacción de Indol a la descarboxilación de la ornitina.

Procedimiento.

Inocular en picada las cepas de micro organismos en el medio de cultivo e incubar por 24 horas a 37°C, e interpretar los resultados obtenidos (Tabla 6).

Tabla 6: interpretación de resultados MIO (27)

Reacción	Interpretación
Enturbamiento del agar	Hay movilidad
Agar transparente desarrollo solo en la picadura	No hay movilidad
Coloración azul del agar (alcalino)	Descarboxilación de ornitina
Coloración amarilla del agar (ácida)	No descarboxila ornitina
Rojo (anillos)	Indol positivo
Amarillo (anillos)	Indol negativo

Fenil alanina desaminasa: Esta prueba determina la capacidad de un organismo para desaminar el aminoácido fenilalanina en ácido fenilpirúvico por su actividad enzimática de fenilalanina desaminasa, con la consiguiente acidez resultante. Esta actividad enzimática es característica de todas las especies del género *Proteus* y del grupo *Providencia* por lo que se usa para separar ambos géneros de otras enterobacterias. Se cultiva el microorganismo en agar fenilalanina sembrando en la superficie con abundante inóculo e incubando durante

12-16 horas. Seguidamente se añade 0,2ml de una solución de cloruro férrico al 10% de manera que inunde todo el crecimiento. La presencia de ácido fenilpirúvico (prueba positiva) se manifiesta por la aparición de un color característico verde oscuro o verde-azulado.

LIA (Agar Lisina Hierro): Esta prueba permite diferenciar los microorganismos que producen descarboxilación o desaminación de la lisina. Se puede detectar además la producción de SH_2 y es más sensible que el TSI para la detección de SH_2 . Es muy utilizado par descartar Salmonella de aislamientos primarios. (29)

Procedimiento:

Inocular en forma de estría las cepas de microorganismos en el medio de cultivo e incubar por 24 horas a 37°C , e interpretar los resultados obtenidos como se muestra en seguida (Tabla 7).

Tabla 7: interpretación resultados LIA (29)

Reacción	Interpretación
Coloración de agar azul (alcalino)	Hay movilidad
Coloración de agar rojo	No hay movilidad
Coloración negra	Descarboxilación de ornitina
Ruptura del agar	No descarboxila
Fondo amarillo y tendido púrpura	Descarboxilación de lisina

Agar citrato: La utilización de citrato como única fuente de carbono es una prueba útil en la identificación de enterobacterias. La utilización de citrato como única fuente de carbono se detecta en un medio de cultivo con citrato como única fuente de carbono mediante el crecimiento y la alcalinización del medio. Este aumento de pH se visualiza con el indicador azul de bromotimol que vira al alcalino a pH 7.6.

Procedimiento:

Se inocula el agar inclinado en una sola estría en el pico. Utilizar un cultivo de 24 horas en un medio sólido y cuidando no arrastrar medio de cultivo, ya que se pueden

producir falsos positivos por crecimiento a partir del medio de cultivo del inóculo. Incubar a 35°C durante 4 días. El ensayo es positivo cuando se observa crecimiento a lo largo de la estría, acompañado o no de un viraje del indicador al azul (29).

Indol: El indol es uno de los productos de degradación metabólica del aminoácido triptofano. Las bacterias que poseen la triptofanasa son capaces de hidrolizar y desaminar el triptofano con producción de indol, ácido pirúvico y amoníaco. La producción de indol es una característica importante para la identificación de muchas especies de microorganismos. La prueba de indol está basada en la formación de un complejo rojo cuando el indol reacciona con el grupo aldehído del p-dimetilaminobenzaldehído. Este es el principio activo de los reactivos de Kovacs y Ehrlich. El medio de cultivo utilizado debe ser rico en triptofano.

Procedimiento:

Inocular el caldo triptofano con el organismo en estudio e incubar a 35°C durante 18 a 24 horas. Al finalizar este período, añadir 5 gotas de reactivo de Kovacs por la pared interior del tubo. El desarrollo de un vivo color rojo fucsia en la interfase del reactivo y el caldo, segundos después de añadir el reactivo indica la presencia de indol y una prueba positiva. (29)

Rojo de metilo: una de las características taxonómicas que se utilizan para identificar los diferentes géneros de enterobacterias lo constituyen el tipo y la proporción de productos de fermentación que se originan por la fermentación de la glucosa. Se conocen 2 tipos generales: la fermentación ácido-mixta y la fermentación del 2,3 butanodiol. En la fermentación ácido mixta se forma fundamentalmente ácido láctico, acético y succínico, además de etanol, H₂ y CO₂.

El rojo de metilo es un indicador de pH con un intervalo entre 6,0 (amarillo) y 4,4 (rojo), que se utiliza para visualizar la producción de ácidos por la vía de fermentación ácido mixta.

Procedimiento:

Inocular el caldo rojo de metilo con un cultivo puro de no más de 24 horas del microorganismo en estudio. Incubar a 35°C durante 48 horas. Luego de finalizado el tiempo

de incubación agregar unas gotas del reactivo de rojo de metilo. La prueba es positiva si se desarrolla de un color rojo estable. Esto indica que la producción de ácido es suficiente para generar el viraje del indicador y el microorganismo fermentó la glucosa por la vía de ácido mixta. Un color anaranjado, intermedio entre el rojo y el amarillo no es considerado como positivo (29).

Voges Proskauer (VP): En la prueba de Voges-Proskauer se determina la vía de fermentación del butanodiol descrita en la prueba de rojo de metilo. El acetyl-methyl-carbinol (o acetoina) es un producto intermediario en la producción de butanodiol. En medio alcalino y en presencia de oxígeno la acetoina es oxidada a diacetyl. Este se revela en presencia de alfa-naftol dando un color rojo-fucsia.

Procedimiento:

Inocular el caldo RMVP con un cultivo puro de no más de 24 horas del microorganismo en estudio. Incubar a 35°C durante 24 horas. Luego de finalizado el tiempo de incubación transferir 1 mL del caldo RM/VP a un tubo limpio y agregar 0.6 mL de alfa-naftol al 5% y 0.2 mL de KOH al 40%. Agitar el tubo cuidadosamente para exponer el medio al oxígeno atmosférico y dejarlo reposar durante 10 a 15 minutos. El desarrollo de un color rojo-fucsia luego de 15 minutos indica la presencia de diacetyl, producto de oxidación de la acetoina y por lo tanto una prueba VP positiva (29).

CAPITULO 4**DESARROLLO EXPERIMENTAL**

El análisis de lixiviados se llevo a cabo en varias etapas, la recolección del lixiviado, diseño del prototipo, análisis por espectroscopía de absorción atómica (AAS), índice de masas acoplada a plasma (ICP-MS), determinación de área superficial, DQO, DBO₅ análisis microbiológico; cada uno de estos análisis requerido para observar el cambio en las muestras de lixiviado antes y después de ser tratados con los diferentes materiales en cada una de las camas.

El tratamiento de los lixiviados se dividió en tres grupos de acuerdo al acomodo de los materiales (arcillas, tezontle, hierro, diatomita), cada uno de los cuales arrojó resultados diferentes.

Para el primer grupo corresponden las muestras 1, 2, y 3, en donde la muestra 1 representa al lixiviado puro (sin tratar), y las muestras 2 y 3 corresponden al acomodo de las camas con los diversos materiales utilizados para las camas por donde se hizo fluir el lixiviado.

M1 - Muestra 1: lixiviado puro, no tratado.

M2 - Muestra 2 (cama1): diatomita 12cm, tezontle 15cm, arcilla 17cm, tezontle 6cm (Fig.13).

M3 - Muestra 3 (cama2): diatomita 13cm, hierro 12cm, arcilla 10cm (Fig.14).

El segundo grupo corresponden las muestras 4, 5, 6 y 7 donde la muestra 4 es el lixiviado puro y las muestras 5,6 y 7 son las camas de los materiales utilizados.

M4 - Muestra 4: lixiviado puro

M5 - Muestra 5 (cama 3): zeolita 5cm, arcilla 11cm, hierro 2cm, tezontle 7cm (Fig.15).

M6 - Muestra 6 (cama 4): hierro 12cm, tezontle, 13cm (Fig.16).

M7 - Muestra 7 (cama 5): arcilla 9.5cm, hierro 10.5cm (Fig.17).

El tercer grupo corresponden las muestras 8, 9, 10 y 11 donde la muestra 8 es el lixiviado puro y las muestras 9, 10 y 11 representan el acomodo de las camas con los materiales utilizados.

M8 - Muestra 8: lixiviado puro

M9 - Muestra 9 (cama 6): diatomita 13cm, hierro 2cm, arcilla 10cm (Fig.18).

M10 - Muestra 10 (cama 7): diatomita 26cm, hierro 4cm, arcilla 20cm (Fig.19).

M11 - Muestra 11 (cama8): hierro 50cm (cama no representativa).

NOTA: Para homogenizar la nomenclatura de “materiales utilizados” (diatomita, tezontle, zeolita, arcilla) en adelante se referira a ellos como “arcillas”.

4.1 Recolección del lixiviado

Para realizar todo el procedimiento antes descrito fue necesario la recolección del lixiviado fresco, el cual fue recolectado del relleno sanitario de la ciudad de Morelia Michoacán ubicado en el kilómetro 14 de la carretera Morelia- Quiroga.

Para la recolección fueron necesarios 4 garrafones de 20 litros aproximadamente, previamente tratados de acuerdo a las normas mexicanas, se llenaron y trasladaron al laboratorio de hidráulica de la UMSNH, donde se llevo a cabo el procedimiento correspondiente.

4.2 Diseño del prototipo

El modelo se fabricó como propuesta para el relleno sanitario, en donde se propone sea ubicado para el tratamiento de los lixiviados. Es un modelo a escala, el cual consta de una canal por donde se hicieron fluir los lixiviados, además de contar con ciertos requerimientos necesarios para su buen funcionamiento; un flujo de 300 ml de lixiviado por hora, con una velocidad de 0.2 m/h.

Es un canal hecho con material de acrílico de 6mm de espesor, de 20 cm de ancho por 20 cm de altura y una longitud de 100 cm, con una pendiente del 10% la necesaria para que exista un flujo, de no existir la pendiente adecuada, el flujo no seria el adecuado.

En la primera sección (Fig.8) se cuenta con un espacio de 5cm de longitud, en donde se encuentra la alimentación del lixiviado, dividiendo esta sección por una compuerta, que se cierra herméticamente impidiendo el paso a la siguiente sección permitiendo el control de flujo de lixiviado.

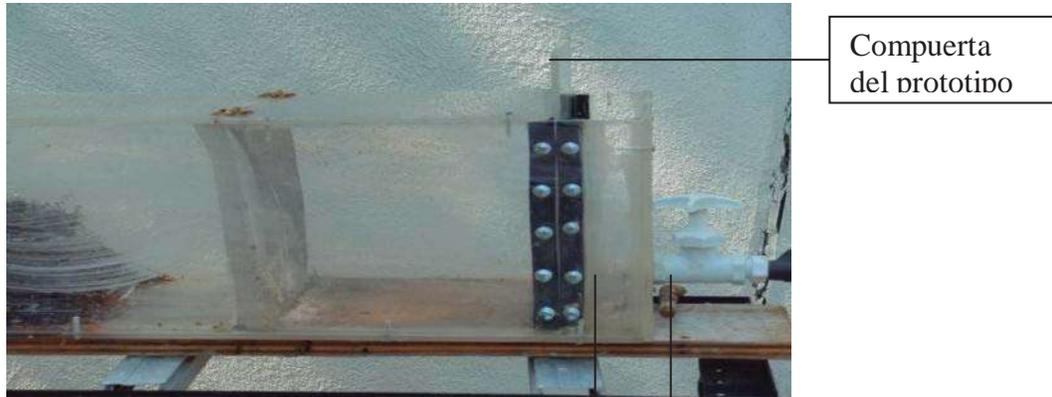
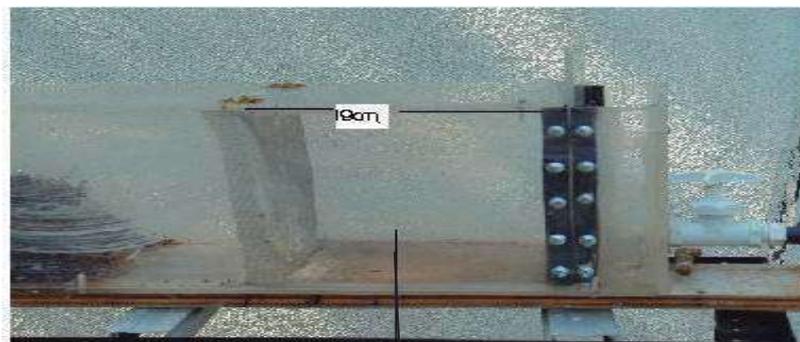


Fig.8 Prototipo de acrílico primera parte.

Alimentación del lixiviado

La segunda sección (Fig.9) tiene una longitud de 19cm el espacio necesario para que el flujo se establezca, y se convierta en un flujo laminar, antes de tocar la cama de arcilla.



Espacio estabilidad del flujo

Fig.9 segunda parte del prototipo estabilización del flujo.

La cama de arcillas la conforma la tercera sección del modelo (Fig.10), con una longitud de 50cm, es aquí donde colocamos las diferentes arcillas en distintas proporciones y longitudes y se establecieron comparaciones de acuerdo al diferente acomodo de las camas propuestas.

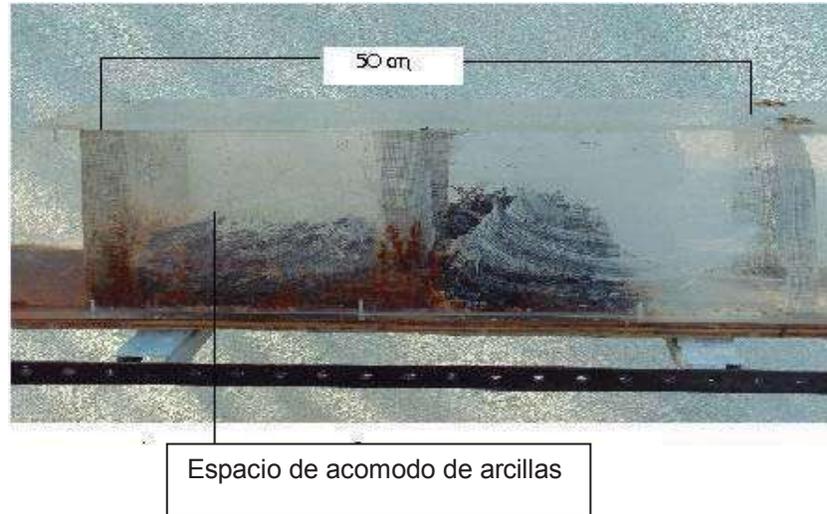


Fig.10 Tercera Parte del prototipo acomodo de las arcillas.

En la cuarta y última sección (Fig.11), siendo éste el final del canal con una longitud de 25cm, es en donde se recolecta el lixiviado tratado para realizarle los análisis correspondientes.

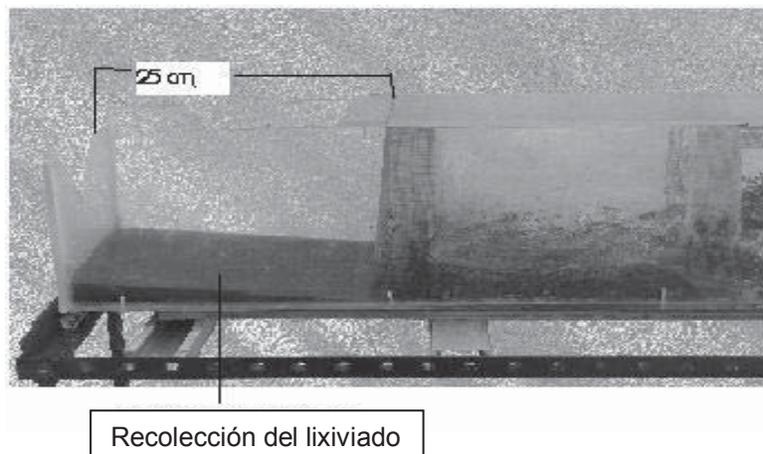


Fig.11 Recolección del lixiviado en el prototipo.

Representación del prototipo de acrílico completo (Fig.12) utilizado para los tratamientos de las muestras de lixiviado.



Fig.12 Representación del prototipo de acrílico.

4.2.1 Preparación de las camas de arcillas.

Todas las camas de arcillas se colocaron de diversas maneras, colocándolas en el prototipo como se muestra a continuación (las más representativas).

Cama 1 (Fig.13)

Diatomita	tezontle	arcilla	tezontle
12 cm.	15cm	17cm	6cm

Fig.13 Representación del acomodo de la cama 1

Cama 2 (Fig.14).

Diatomita	hierro	arcilla
13cm	12cm	10cm

Fig.14. Representación del acomodo de la cama 2.

Cama 3 (Fig.15).

Zeolita	arcilla	hierro	tezontle
5cm	11cm	2cm	7cm

Fig.15. Representación del acomodo de la cama 3.

Cama 4 (Fig.16).

Hierro	tezontle
12cm	13cm

Fig.16 Representación del acomodo de la cama 4

Cama 5 (Fig.17)

Arcilla de mina	hierro
9.5cm	10.5cm

Fig.17 Representación del acomodo de la cama 5

Cama 6 (Fig.18)

Diatomita	hierro	arcilla
13cm	2cm	10cm

Fig.18 Representación del acomodo de la cama 6.

Cama 7 (Fig. 19).

Diatomita	hierro	arcilla
26cm	4cm	20cm

Fig.19 Representación del acomodo de la cama 7.

4.2 Método de digestión ácida (Método 3005 A EPA).

Este método ha sido desarrollado para proveer dos procedimientos separados de digestión, uno es por Espectrometría de absorción atómica de flama (FLAA), por espectroscopia de emisión atómica Inductivamente acoplada a plasma (ICP-AES), y otro

análisis para la preparación de muestras para el análisis por espectrometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAA) o por espectrometría de masa inductivamente acoplado a plasma (ICP- MS). Los extractos de estos dos procedimientos no son intercambiables y solamente deben ser usados con las determinaciones analíticas planteadas en esta sección. Las muestras preparadas mediante este método pueden ser analizadas por ICP-AES o por GFAA para todos los metales listados con tal de que los límites de detección sean los adecuados para el uso final de los datos. Pueden usarse técnicas determinativas alternas si son científicamente válidas y el criterio QC (quality control) del método, incluyendo aquellos que tengan que ver con las interferencias (26).

Este método no es una digestión total para la mayoría de las muestras. Es una digestión ácida muy fuerte que disuelve casi todos los elementos que podrían llegar a ser ambientalmente disponibles. Por diseño, los elementos ligados a estructuras de silicato normalmente no son disueltos por este procedimiento puesto que usualmente no son móviles en el ambiente (26).

Material y equipo.

- Recipiente para digestión
- vidrio de reloj
- Embudos y papel filtro
- Probeta
- Parilla eléctrica ajustable (90 95°C)
- Espectrómetro de Absorción Atómica (AAAnalyst 200) PerkinElmer

Reactivos.

- Agua desionizada
- Ácido nítrico concentrado HNO_3
- Ácido clorhídrico concentrado HCl

Procedimiento.

- Se colocan 100 ml de muestra (lixiviado) en un recipiente para digestión (V pp.)
- Agregar 2 ml de HNO_3 conc. Y 5ml de HCl conc. Se cubre con el vidrio de reloj y se calienta entre 90 y 95°C hasta reducir el volumen a 15 o 20 ml. "Precaución",

cuidar que no hierva. Existen compuestos que pueden volatilizarse fácilmente por el HCl.

- Dejar enfriar.
- Lavar las paredes del recipiente y el vidrio de reloj con agua y si es necesario filtrar, centrifugar la muestra para remover silicatos y otros materiales insolubles. La filtración debe hacerse solo si existe preocupación por materiales insolubles, procedimiento opcional, puede causar la contaminación de la muestra.
- Ajustar el volumen final a 100 ml con H₂O desionizada.
- Leer en el espectrómetro de absorción atómica.

Método análisis microbiológico

El objetivo general de este procedimiento es verificar si en las muestras tomadas hay alguna variación al respecto de los microorganismos presentes antes del tratamiento y después de ser tratados y observar si este tratamiento sirve también para la retención de microorganismos.

Se tomaron 6 muestras, en las que se obtuvieron mejores resultados de acuerdo a los análisis realizados; DQO, DBO₅, AAS y ICP-MS las muestras fueron:

M1: lixiviado puro, M2 (cama 1) y M3 (cama 2), del primer grupo de tratamientos.

M8: lixiviado puro, M9 (cama 6) y M10 (cama 7), del tercer grupo de tratamientos.

Como primer paso una vez llevadas las muestras al laboratorio, se realizaron tinciones de cada una de las muestras de los lixiviados, para observar la presencia de microorganismos gram positivos (G+), y gram negativos (G-), en las muestras y posteriormente hacer una tipificación de los microorganismos presentes en las muestras y observar si los tratamientos con las diferentes camas de arcillas sirven también para la retención de microorganismos.

Una vez realizada la tinción gram, y observar microorganismos de ambos grupos en las muestras, se procedió a realizar cultivos de estas muestras de lixiviados, en agares de enriquecimiento, agar soya tripticasa (AST) y agar nutritivo (AN) por 24 horas a una temperatura de 37°C. Cada muestra fue sembrada por duplicado una para AST y otra para AN, para tomar colonias diferentes de cada uno de los agares y realizar su tipificación.

De cada uno de los agares se tomaron 4 colonias diferentes (de acuerdo a sus propiedades morfológicas) de cada agar, y fueron resembradas una vez más en los agares AST y AN, para aislarlas e identificarlas.

Las muestras fueron clasificadas de la siguiente manera (Tabla 13):

- M1 lixiviado puro: AN 1.1 - 1.4 y AST 1.5 - 1.8
- M2 (cama1): AN 2.1 - 2.4 y AST 2.5 - 2.8
- M3 (cama2): AN 3.1 - 3.4 y AST 3.5 - 3.8
- M8 lixiviado puro: AN 4.1 – 4.4 y AST 4.5 – 4.8
- M9 (cama6): AN 5.1 – 5.4 y AST 5.5 – 5.8
- M10 (cama7): AN 6.1 – 6.4 y AST 6.5 – 6.8

Después de ser resembradas las muestras y observar el crecimiento, una vez más se realizó una tinción gram de cada una de las colonias aisladas dividiéndolas en G- y G+ para con estos resultados realizar las pruebas adecuadas para su identificación.

Una vez realizada la tipificación, de G+ y G -, se realizaron las pruebas de identificación para G+ y G- tanto para bacilos y cocos. Unas de las pruebas realizadas para su tipificación fueron de oxidasa y catalasa.

Una vez clasificadas las muestras en G- se les realizó una serie de pruebas (pruebas bioquímicas) para proporcionar información sobre algún tipo de enterobacterias que están presentes en este tipo de muestras, y observar si con el tratamiento de las arcillas existe la remoción de estos microorganismos.

Para G+ se realizó la prueba de bacitracina, novobiocina, y obtener la clasificación de todos los cocos, *streptococcus* del grupo A o B. Así como la prueba de la coagulasa, sal y manitol para identificar algún tipo de *staphylococcus*. La prueba de la catalasa se realizó para diferenciar *streptococcus* de *staphylococcus*.

CAPITULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de hacer las corridas y analizar las muestras los resultados fueron los siguientes:

5.1 Análisis espectroscopia de absorción atómica.

Tabla 8- Concentración de metales presentes (mg/L) antes del tratamiento (100% lixiviado puro), y después del tratamiento.

	Muestra	Zn mg/L	% remanente	Cu mg/L	% remanente	Ni mg/L	% remanente	Fe mg/L	% remanente
grupo 1	M1	21.06	100%	2.76	100%	6.036	100%	1746	100%
	M2	14.88	70.66	2.376	86.09	2.82	46.72	1053	60.31
	M3	5.34	25.36	1.026	37.17	1.29	21.37	927.6	53.13
grupo 2	M4	16.8	100%	2.148	100%	6.084	100%	1744.2	100%
	M5	12.72	75.71	1.488	69.27	2.226	36.59	2180.4	125.01
	M6	18	107.14	2.304	107.26	0.858	14.10	2286.6	131.10
	M7	15.72	93.57	2.31	107.54	12.186	200.30	2319.6	132.99
grupo 3	M8	6.48	100%	0.276	100%	5.268	100%	265.92	100%
	M9	4.32	66.67	1.518	550.0	5	94.91	28.61	10.76
	M10	1.86	28.70	0.588	213.04	4.146	78.70	29.888	11.24
	M11	3.75	57.87	-0.205	-74.28	2.56	48.60	257	96.65

Como se puede observar (Tabla 8) existe una disminución de la concentración de algunos metales, en algunos casos como en la muestra 3 (M3); que es una de las mas representativas al mostrar disminución de la concentración de los metales después del tratamiento con las arcillas. Esta cama de arcillas estaba conformada por diatomita, hierro y arcilla, con una longitud de 13cm, 12cm y 10cm respectivamente.

Lo que nos demuestra que para el primer grupo de tratamientos esta es la cama con mayor afinidad a la retención de los metales.

El segundo grupo de tratamientos que comprenden de la muestra 4 a la 7, se observa que no hay una buena retención de los metales, por el tipo de arcillas y tal vez el acomodo utilizado.

El tercer y último grupo de tratamientos representa una repetición de la muestra 3 ya antes descrita, y se observa que una vez más es la ideal para el tratamiento de los lixiviados. Nos muestra la retención de metales en la muestra 9 (M9) y en algunos casos aún mejor retención en la muestra 10 (M10) debido a que es del doble de longitud de las muestras 3 y 9.

En el caso de Ca, Pb, Cr y Cd no están representados en esta tabla ya que no alcanzaron el límite de detección en el espectrómetro.

5.2 Análisis por espectroscopia de masas acoplada a plasma (ICP-MS).

En la siguiente tabla (Tabla 9), están representados los valores en partes por billón, en cada grupo de los tratamientos se observa la disminución en la concentración de los metales en lixiviado después de ser tratado.

Tabla 9- En la tabla se muestran los resultados por ICP, los valores mostrados son los reales detectados por el espectrómetro.

		mcg/L (ppb)														
		Ti	V	Cr (52)	Mn	Fe	Co	Ni(60)	Cu(63)	Zn(66)	As	Sr(88)	Cd(112)	Cd(116)	Sn	Pb(208)
grupo1	M1	13.12	3.348	13.14	1051	4822	10.59	18.25	48.81	5029	1.729	293.1	1.606	0.907	0.624	4.546
	M2	11.97	3.535	11.4	671.5	4184	6.322	12.03	11.48	6474	1.599	704.8	0.3	0.286	0.295	3.731
	M3	7.902	4.531	9.688	664.9	4354	4.992	13.21	19.54	904.7	1.44	731.8	0.517	0.289	0.2067	1.363
grupo2	M4	12.19	3.271	11.49	1025	4731	10.26	16.57	25.92	1192	1.676	248.2	1.318	0.618	0.3249	2.809
	M5	10.95	2.825	10.58	624.2	7205	5.617	12.94	24.66	1514	1.491	835.3	0.593	0.385	0.3264	3.213
	M6	11.19	3.427	13.13	1131	7462	11.36	19.57	11.4	1611	1.755	264.4	0.234	0.263	0.2749	3.171
	M7	14.31	3.601	13.1	1096	7568	9.989	16.76	22.05	2131	1.715	362.6	0.722	0.65	0.6293	4.04
grupo3	M8	42.19	10.63	12.33	31.66	678.7	3.311	5.952	21.75	2191	2.088	64.49	1.835	1.2	0.9644	6.175
	M9	11.31	4.116	6.577	7.724	551.2	1.523	6.031	12.19	960.6	1.634	344.5	0.13	0.222	2578ppb	4.279
	M10	12.79	10.81	6.76	5.128	232.1	2.214	7.607	20.09	567.3	1.815	163.8	0.63	0.36	0.2485	3.211
	M11	41.12	10.62	12.78	37.07	704.8	3.225	6.611	22.55	7608	1.949	87.09	1.076	1.222	1.327	13.06

Las lecturas realizadas por ICP-MS al igual que por AAS, nos indican la misma variación con respecto de las muestras 3, 9, y 10 tienen el mismo comportamiento. Las muestras fueron analizadas con equipos diferentes y muestran que el tratamiento con diatomita, hierro y arcilla es el mejor tratamiento para la retención de metales pesados de un lixiviado, puesto que la concentración de los metales después de hacer pasar el lixiviado por estas camas (M3, M9 y M10), baja en mayor proporción que con los tratamientos de las otras camas (M2, M5, M6; M7 y M11).

Primer grupo de tratamientos.

En la siguiente gráfica (Fig20) se muestra, en M1 la línea que representa la cantidad de metales presentes en el lixiviado puro (sin tratar), las líneas M2 y M3, muestran una baja en la detección de los metales, siendo un poco mas representativa la muestra del lixiviado 3 (línea M3) en la cual se muestra una baja en la detección de los metales, siendo este tratamiento mejor que el 2 (línea M2). Los resultados se pueden comparar para su mayor comprensión, con los resultados de la tabla 9 en la que se representan los valores arrojados por el ICP-MS.

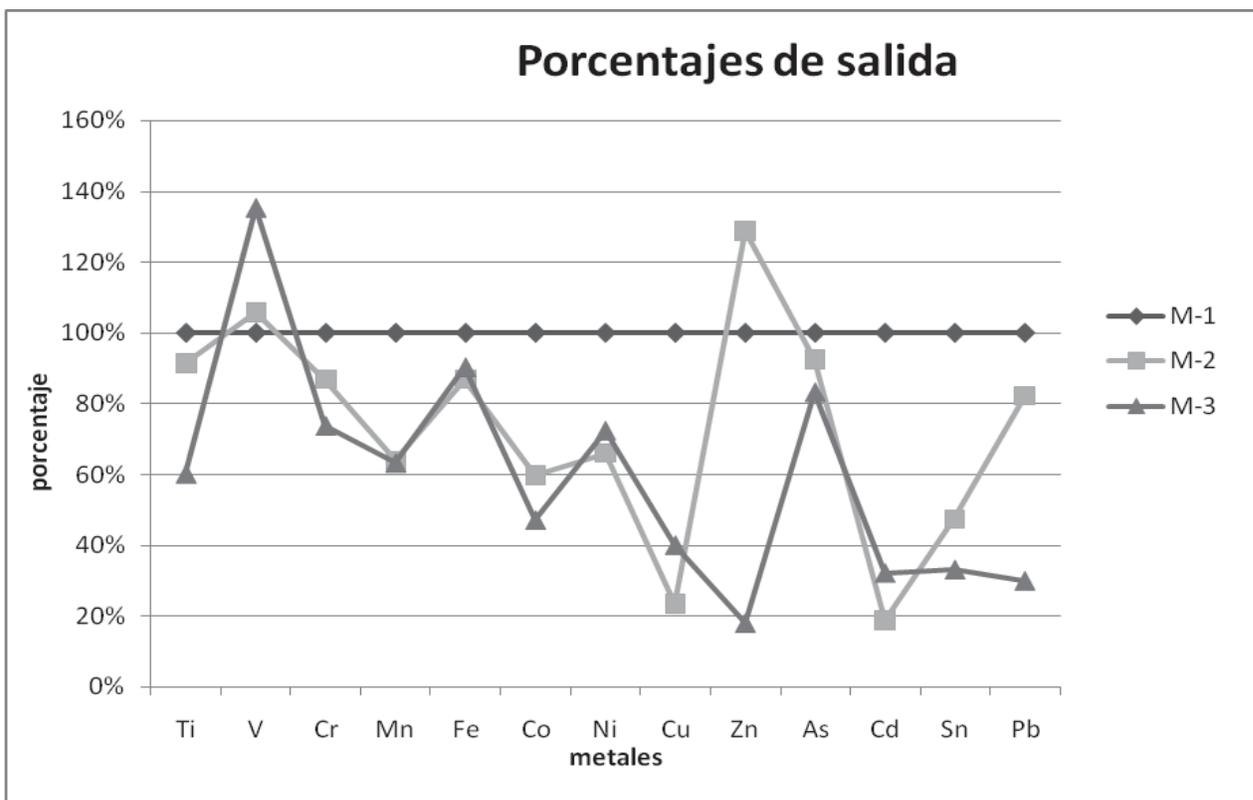


Fig.20 Representación grafica de la cantidad de metales presentes en el lixiviado después de ser tratado en comparación con el lixiviado puro.

Como se puede ver en las tablas (tabla 8 y 9), y en la gráfica (fig.20), la cama que contiene Diatomita 12cm, Tezontle 15cm, Arcilla 17cm, tezontle 6cm, es menos efectiva que la muestra 3 que contiene diatomita 13cm, hierro 12cm, y arcilla 10cm. Tanto en ICP-MS, como AAS los resultados para la muestra 3 son mejores que en la muestra 2.

Segundo grupo de tratamientos.

En esta gráfica (Fig.21) podemos observar que de los tres tratamientos utilizados no tuvieron la mayor retención de metales con las arcillas y el acomodo de las arcillas utilizadas durante estos tratamientos. La retención de los metales fue mínima en cualquiera de los tratamientos realizados.

Los resultados se pueden corroborar en las tablas 8 y 9, en donde se observa que tanto en el análisis por ICP-MS y AAS, no hubo retención en algunos casos o fue mínima la disminución en la concentración de los metales después de tratarlas en las camas de arcillas (M5, M6 y M7).

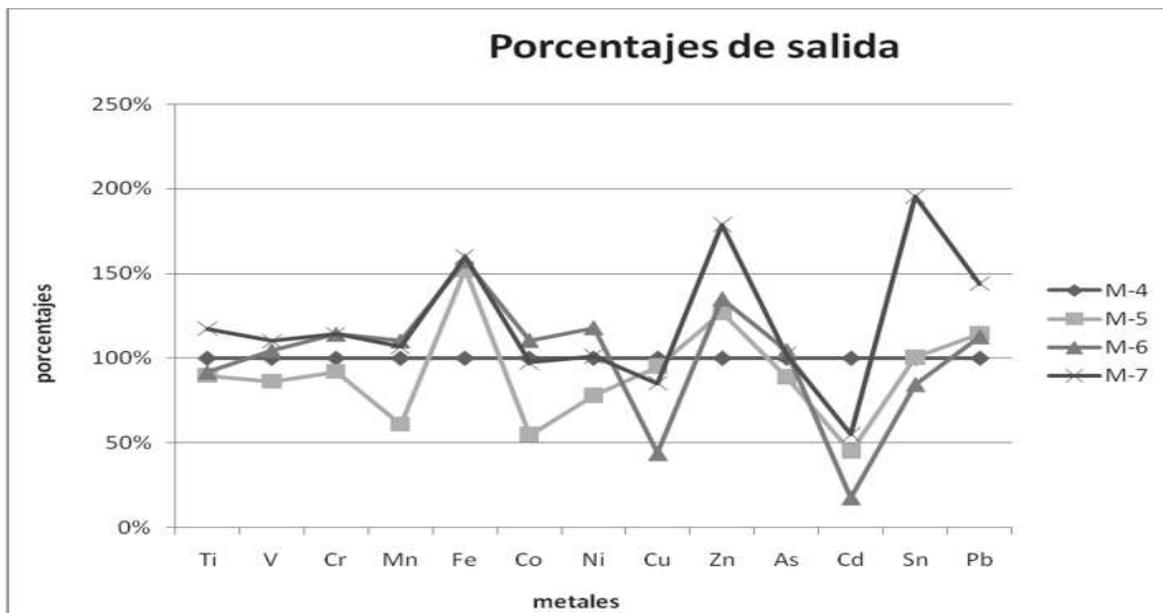


Fig.21- Representación grafica de metales presentes en las muestras M5, M6y M7, después de ser tratados en comparación con el lixiviado puro M4.

Tercer grupo de tratamientos.

En esta gráfica (Fig.22) se puede observar que los dos tratamientos son de muy gran importancia puesto que en los dos se observa eficacia a la hora de retener los metales. Los dos tratamientos son del mismo tipo de material acomodados, de la misma forma; solo que a longitudes diferentes la línea M10 representa a la cama con mayor longitud (50cm), y la línea M9 la cama con la mitad de la longitud al respecto de la M10 (25cm).

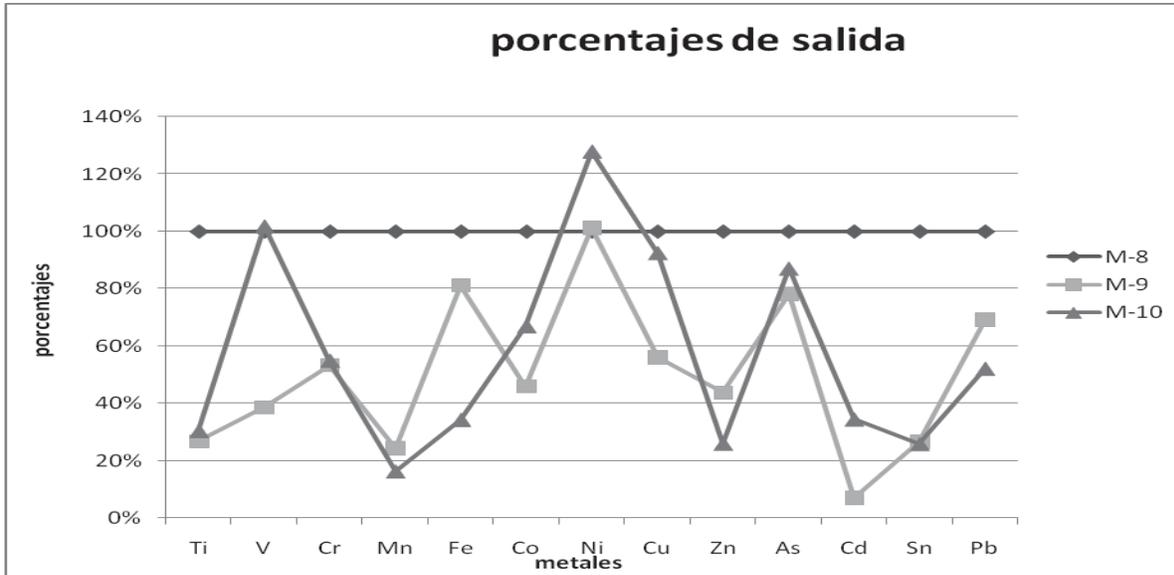


Fig.22- Representación grafica de metales presentes después de ser tratado el lixiviado M9 y M10 en comparación con el lixiviado puro M8.

Como se observa a lo largo del acomodo de las diferentes camas de arcillas las de mayor representación o las camas que retienen mejor los diferentes metales son las camas que contienen: diatomita 13cm, hierro 12cm, arcilla 10cm (muestra 3 cama 2); diatomita 13cm, hierro 2cm, arcilla 10cm (muestra 9 cama 6); diatomita 26cm, hierro 4cm, arcilla 20cm (muestra 10 cama 7): el acomodo y las longitudes de cada una de ellas fueron las que hicieron de estas tres las mas representativas de todos los tratamientos realizados

5.3 Resultados DQO Y DBO₅

En la siguiente tabla (Tabla 10) se muestran los valores para DQO y DBO₅, las concentraciones en mg/L son las requeridas de O₂ para que toda la materia orgánica presente en la muestra pueda ser oxidada en su totalidad.

Como se puede observar, en la tabla (Tabla 10) los lixiviados de entrada tienen mayor requerimiento de O_2 los lixiviados de salida (ya tratados o pasados por los diferentes tratamientos de arcillas), para poder oxidar la materia orgánica presente en cada una de las muestras. Este análisis de DQO y DBO_5 nos ayuda a corroborar que los tratamientos con las arcillas retienen materia orgánica, disminuyendo las concentraciones de esta en los lixiviados de nuestras muestras, así como los análisis de ICP-MS y AAS nos indican la retención de los metales en los tratamientos, indicando cual es el tratamiento con mejores resultados.

Camas realizadas	DQO mg/l	DBO_5 mg/l
Entrada de la cama 1	71536	7367
Salida de la cama 1	66147	6812
Entrada de la cama 2	71536	7367
Salida de la cama 2	55284	5693
Entrada de la cama 3	68968	7103
Salida de la cama 3	61965	6381
Entrada de la cama 4	74986	7722
Salida de la cama 4	68968	7103
Entrada de la cama 5	73389	7558
Salida de cama 5	68968	7103
Entrada de la cama 6	71671	7381
Salida de la cama 6	68713	7076
Entrada de la cama 7	18090	1863
Salida de la cama 7	14403	1863

Tabla 10. Resultados obtenidos para DQO y DBO_5 en muestras de lixiviados antes y después del tratamiento.

En la Tabla 10 se observa la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos al cabo de 5 días, en cada una de las muestras tomadas, es claro que a pesar de ser inhibidos los procesos fotosintéticos para su crecimiento, los microorganismos siguieron su desarrollo con el consumo de oxígeno, lo que nos indica que los microorganismos siguen utilizando oxígeno transformando la materia orgánica presente en las muestras.

Por medio de la DQO se observó que en las muestras tratadas disminuye un poco la carga de materia orgánica, presente en mayor cantidad en la muestra inicial, esta disminución solo se presenta en la muestra M3, M9 y M10, en las que se obtuvieron mejores resultados, tanto en la retención de materia orgánica y en metales pesados.

5.4 Determinación del área superficial de los materiales usados.

Tabla 11- Representación del área superficial de las arcillas antes y después de ser utilizadas

MATERIAL	ÁREA SUPERFICIAL (m ²)	ÁREA SUPERFICIAL (m ² /gr)
Arcilla muestra original (antes del tratamiento)	19.492	87.017
Arcilla de la cama 2 (después del tratamiento)	14.605	94.899
Arcilla de la cama 3 (después del tratamiento)	16.578	132.627
Diatomita muestra original (antes del tratamiento)	20.767	93.480
Diatomita de la cama 2 (después del tratamiento)	12.750	35.496
Diatomita de la cama 3 (después del tratamiento)	20.922	74.908
Tezontle muestra original (antes del tratamiento)	1.384	1.327
Tezontle salida 1 (después del tratamiento)	0.751	0.667
Tezontle cama 3 (después del tratamiento)	0.619	0.745

Se realizó el análisis para obtener el área superficial de cada una de las arcillas utilizadas en el experimento del prototipo; en esta tabla (Tabla 11) se muestra el área superficial antes y después de los tratamientos, se muestran los valores de cada una de las áreas superficiales.

Se puede observar que el área superficial de las arcillas utilizadas disminuye después de hacer pasar el lixiviado, para su tratamiento, por lo que queda atrapada cierta cantidad de materia orgánica e inorgánica, dando como resultado una disminución en el área superficial de las arcillas.

5.5 Resultados análisis microbiológico.

En el análisis microbiológico se recolectaron las muestras para un análisis general del lixiviado. Se realizaron diferentes procedimientos para la identificación de los microorganismos presentes en la muestras de lixiviados.

El análisis microbiológico se hizo solamente a las muestras cuyos estudios en el espectrómetro de masas ICP-MS y absorción atómica AAS, mostraron una disminución en el contenido de metales. Las muestras fueron: M1; 1 entrada (lixiviado puro), M2 cama 1; 2 salida (Diatomita 12cm, tezontle 15cm, arcilla 17cm, tezontle 6cm), M3 cama 2: 2 salida (diatomita 13 cm, hierro 12 cm, arcilla 10 cm), y M4; 8 lixiviado puro, M5 cama 6; 2 salida 25 cm. (diatomita 13 cm, hierro 2 cm arcilla 10 cm) y M6 cama 7; 2 salida 50 cm (diatomita 26 cm, hierro 4 cm arcilla 20 cm).

En esta tabla (Tabla 12) se muestra la primera clasificación de los microorganismos presentes en las muestras de lixiviado, cabe señalar que en las muestras se observó la presencia de ambos tipos de microorganismos gram + (G+), y gram- (G-), por lo que se tomaron en cuenta los más abundantes en el análisis microscópico.

Tabla 12: clasificación microscópica, microorganismos gram positivos y negativos

Muestra	Descripción Microorganismos
M1- lixiviado puro	G+, G-.
M2- cama 1	G – la mayoría
M3- cama 2	G+ la mayoría
M4- lixiviado puro	G - la mayoría
M5- cama 6	G - la mayoría
M6- cama7	G - la mayoría

Como ya se mencionó en este análisis microbiológico, para un crecimiento inicial y para una identificación y separación de los microorganismos se utilizaron dos medios de cultivo enriquecidos.

Después de obtener el crecimiento en cada una de las placas se tomaron 8 colonias diferentes en sus propiedades morfológicas, y representativas, se hizo una división de la placa en 8 partes, 4 para colonias de AN, y 4 para AST de una misma muestra.

En las siguientes tablas (Tablas 13.1-13.6) se muestra la clasificación de las colonias sembradas en cada uno de los agares, de cada muestra del lixiviado.

Tabla 13.1 lixiviado puro M1

Muestra	Descripción
AN	
1.1	Bacilos G -, en cadena
1.2	Bacilos G -, filamentosos pequeños
1.3	Bacilos G+
1.4	Bacilos G -
AST	
1.1	Bacilos G+
1.2	Cocos G+
1.3	Bacilos G -
1.4	Cocos G -, desagrupados

Tabla 13.2 M2, cama 1

Muestra	Descripción
AN	
2.1	Cocos abundantes
2.2	Bacilos G -
2.3	Bacilos G -
2.4	Bacilos G , no identificado
AST	
2.5	Bacilos G -
2.6	Cocos G+, bacilos G -
2.7	Bacilos G -
2.8	Bacilos G -

Tabla 13.3. M3 cama 2

Muestra	Descripción
AN	
3.1	Cocos G+
3.2	Bacilos G -
3.3	Cocos G+
3.4	Cocos G+
AST	
3.5	Bacilos G -
3.6	No ados
3.7	Cocos G - , los
3.8	Bacilos G -

Tabla13.4. M8 lixiviado puro

Muestra	Descripción
AN	
4.1	Bacilos G - ,
4.2	Cocos G - , pequeños
4.3	Cocos G+
4.4	Bacilos G - muy pequeños
AST	
4.5	Bacilos G+
4.6	Bacilos G+
4.7	Cocos G+
4.8	Cocos G+

Tabla 13.5. M9 cama 6

Muestra	Descripción
AN	
5.1	Bacilos G -
5.2	No identificados abundante cantidad.
5.3	Bacilos G -
5.4	No identificados
AST	
5.5	Cocos G+
5.6	Cocos G+
5.7	Cocos G+
5.8	Bacilos G -

Tabla 13.6. M10 cama 7

Muestra	Descripción
AN	
6.1	Bacilos G - , cortos
6.2	Bacilos G -
6.3	
6.4	Bacilos G+ cortos
AST	
6.5	Bacilos G -
6.6	G - muy pequeños
6.7	Cocos G+ grandes desagrupados
6.8	Bacilos G-

Estas tablas (Tabla 13.1- 13.6) representan los resultados de las tinciones de las muestras y colonias seleccionadas para el análisis microbiológico. Es un análisis preeliminar para realizar las pruebas correspondientes dependiendo al grupo al que pertenezcan de acuerdo a los resultados observados en estas tablas.

Tabla 14- resultados de catalasa y oxidasa

Muestra	Gram	Catalasa	Oxidasa
1.3	B. G+	+	-
1.5	B. G+	+	-
1.6	C.G+	+	-
1.8	C.G -	-	-
2.1	C.G -	+	-
2.6	C.G+	+	-
3.1	C.G+		
3.3	C.G+	+	-
3.4	C.G+	+	-
3.6	No identificado	-	-
3.7	C.G+	+	-
4.5	B. G+	+	-
4.6	B. G+	+	-
4.8	C.G+	+	-
5.2	No identificado	+	-
5.5	C.G+	+	-
5.6	C.G+	-	-
5.7	C.G+	-	-
6.3	No identificado		
6.4	B. G+	-	-
6.7	C.G+	-	-

Se realizaron las pruebas de identificación para G+ y G- para bacilos y cocos. Unas de las pruebas realizadas para su tipificación fueron de oxidasa y catalasa (Tabla14).

Una vez realizada la tinción Gram se seleccionaron las bacterias G- para realizar las pruebas bioquímicas (Tabla 15) y obtener información sobre algún tipo de enterobacterias (bacterias comúnmente presentes en el organismo), que podrían estar presentes en este tipo de muestras, y observar si con el tratamiento de las arcillas existe la remoción de estos microorganismos.

Tabla 15- resultados de las pruebas bioquímicas realizadas a las muestras

Muestra	TSI	LIA	MIO	CITRATO	FENIL ALANINA	RM	VP	UREA	OXIDASA
1.1	Sc.	Sc.	+ - +	-	-	-	+	-	-
1.4	Sc.	Sc.	- - -	-	-	-	+	-	-
1.7	A/A	K/A	- - -	-	-	-	+	-	-
2.2	A/A	Sc.	- - +	-	-	-	+	-	-
2.3	A/A	K/A	+ - +	-	-	-	+	-	-
2.7	K/K	K/K	+ - +	-	-	-	+	-	-
2.8	K/K	K/K	+ - +	+	-	-	+	-	-
3.8	K/K	K/A	- - +	+	-	-	+	-	+
4.1	K/A _{H2S}	K/A	+ - -	-	+	+	-	-	+
4.2	K/A _{H2S}	K/A	+ - -	-	+	+	-	-	+
4.3	K/A _{H2S}	K/A _{H2S}	- - -	-	+	+	-	+	+
4.7	A/A	K/A	+ - -	-	-	-	+	-	+
4.4	K/A _{H2S}	K/A	- - -	-	-	-	+	-	+
5.1	K/A _{H2S}	K/A	+ - -	-	+	+	-	+	+
5.3	K/A _{H2S}	K/A _{H2S}	+ - -	-	+	+	-	+	+
5.4	K/A _{H2S}	K/A	+ - -	-	+	+	-	+	+
5.8	K/K	K/K	- - +	+	-	+	-	-	-
6.2	K/A _{H2S}	K/K	- - +	-	-	-	+	-	-
6.5	K/K	K/K	- - +	-	-	-	+	-	-
6.6	K/A	K/A	+ - -	+	+	+	-	-	-
2.1	Sc.	Sc.	+ - +	-	-	-	+	-	+

En esta tabla se muestran los resultados obtenidos por las pruebas bioquímicas, se representa la información necesaria para identificar algunas enterobacterias más comunes

en el análisis de bioquímica clínica, algunas de estos encontrados principalmente en el intestino en la flora normal del organismo.

Para gram positivos se realizó la prueba de bacitracina, novobiocina, y obtener la clasificación de todos los cocos, *streptococcus* del grupo A o B. Así como la prueba de la coagulasa, sal y manitol para identificar algún tipo de *staphylococcus*. La prueba de la catalasa se realizo para diferenciar *streptococcus* de *staphylococcus*.

Para cada muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16- Microorganismos encontrados en las muestras de lixiviados.

Muestra	Microorganismos encontrados.
M1	Genero <i>Bacillus</i> , <i>Staphylococcus saprofiticus</i> , <i>Streptococcus</i> gpo. A, <i>Klebsiella terrigena</i> ,
M2	<i>Staphylococcus aureus</i> , Genero <i>Bacillus</i> <i>Yersinia enterocolitica</i>
M3	<i>Streptococcus</i> gpo. A, Genero <i>Bacillus</i> <i>Vibrios</i> , <i>Pseudomonas alcaligenes</i>
M4	<i>Staphylococcus aureus</i> , Genero <i>Bacillus</i> <i>Aeromona salmonicida</i> , <i>Proteus vulgaris</i>
M5	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus saprofiticus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Proteus vulgaris</i>
M6	<i>Staphylococcus saprofiticus</i> , <i>Strptococos</i> gpo.A, Genero <i>Bacillus</i> <i>Klebsiella P.aglomerans</i> , <i>Salmonella salmonicida</i>

En la tabla 16 se observa que en cada una de las muestras fueron encontrados diferentes tipos de microorganismos, tanto en las muestras obtenidas del lixiviado puro, como en las muestras ya tratadas, con los diferentes materiales sorbentes. Hay que destacar que se realizó el estudio tomando de referencia colonias de diferentes propiedades morfológicas, por lo que se pueden observar diferentes microorganismos en cada una de las muestras.

Por ejemplo: en la muestra M1, podemos encontrar *Streptococcus* gpo. A, lo que en la M2, que es el lixiviado de salida, no se encuentra; pero esto no quiere decir que halla sido retenido por las arcillas, ya que podemos observar que existe la presencia del genero *Bacillus* en ambas muestras, lo que indica que en el momento del análisis se tomaron colonias diferentes, que nos dan resultados variables. Es el caso para la M4 y sus muestras de salida M5 y M6, que se observan diferentes microorganismos en cada una de las muestras.

CONCLUSIONES

- Concluyendo así que el tratamiento con arcillas es una opción para disminuir la contaminación del subsuelo y la posterior contaminación de los mantos acuíferos, aunque no es un tratamiento 100% efectivo, puede servir como un pretratamiento para los lixiviados originados en los rellenos sanitarios.
- La DBO₅ nos indicó en este caso la presencia de materia orgánica biodegradable antes y después del tratamiento, por lo cual se concluye que el tratamiento con las arcillas no es un método adecuado para la retención de esta.
- Se observó que el mejor arreglo fue el de la cama² constituida por diatomita, tezontle y arcilla. Lo cual fue corroborado con las técnicas de espectrometría de absorción atómica, espectrometría de masas acoplada a plasma y cálculos de áreas superficiales.
- Con lo anterior concluimos que el tratamiento de lixiviados es importante para evitar la contaminación, ya que la filtración de los lixiviados a los mantos acuíferos puede traer grandes consecuencias debido a la gran cantidad de materia orgánica e inorgánica. Y que el tratamiento con las arcillas funciona como un pretratamiento para eliminar carga de materia orgánica e inorgánica (metales pesados principalmente), pero no es un tratamiento ideal para la eliminación de microorganismos presentes en los lixiviados.

Recomendación.

Una vez visto que el tratamiento con arcillas no es eficaz para la retención e microorganismos se sugiere un tratamiento avanzado de los lixiviados para eliminar la gran cantidad de microorganismos presentes, uno de estos puede ser electrocoagulación que es un tratamiento que además de eliminar materia orgánica e inorgánica, puede eliminar la presencia de bacterias, otra opción puede ser la cloración de los lixiviados después de ser tratados con las arcillas.

BIBLIOGRAFIA

(1) D. Moreno Juárez, J. Ixcoatl Aguirre, E. Corona Moreno, M.A. Mora Hdz, M. Corona Moreno. Recuperación y reciclaje de desechos industriales, de hidrogenadoras en Morelia Mich. como contribución al desarrollo económico y reducir la contaminación ambiental. Secretaria de desarrollo y medio ambiente (2003).

<http://www.sicbasa.com/tuto/AMECIDER2006/PARTE%208/280%20Delia%20Moreno%20Juarez%20et%20al.pdf> 20/Nov/08

(2) Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Depto. de Geología. Edif. U, Univ. Michoacana, Petróleos Mexicanos, Universidad de Guadalajara, Depto de Geología UNAM, Campus Juriquilla, Universidad de Guerrero.

(3) Bernache, G., Bazdresch, M., Cuéllar, J.L. and Moreno F. 1998. Basura y Metrópoli. Ciesas-Occidente, Iteso, Col-Jal y U. de G. México, 238 p.

(4) Buenrostro, D.O., e Israde, A.I., 2001. The generation of municipal solid wastes in the basin of Cuitzeo lake, México. Rev. Int. Contam. Ambient.

(5) Buen rostro e Israde 2002. La generación de residuos sólidos municipales en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán, México. Rev. de la coordinac, de Inv. Científica. En prensa

(6) G. Carbajal de la Torre, I. Israde Alcántara, J. Serrato Rodríguez and J. Reyes Gasga (1998); Electrón microscopy and X-Ray Analysis of Lacustrine clays from the Charo canyon State of Michocán, Mexico. Clays and Clays minerals. Vol. 46, N°3, 330-339.

(7) V.H. Garduño, E. Arreygue, I. Israde-Alcantara, G. Rodríguez.(2001) Efectos de las fallas asociadas a sobre explotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia (Michoacán, México). Revista de Ciencias Geológicas. Instituto de Geología de la UNAM.. Vol. 18 .1.pp.37-54

(8) Garduño-Monroy VH, Corona Chavez P., Israde-Alcantara I., Menella L., Arreygue E., Biggiogero B. y Chiesa S. (1999) La carta geológica de Michoacán. Escala 1: 250,000. Secretaria de difusión y extensión Universitaria.111.p. Corona P. e Israde I.edit.

(9) Rodríguez A. E. Esc. Ing. en ciencias ambientales de la universidad de ciencias y artes de Chiapas. Reporte. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones> ,
<http://www.ecosur.mx/ecofronteras/ecofrontera/ecofront27/Cartas.pdf>

(10) Sánchez-Yáñez M., Manzano Zamudio F., Leal Lozano L., Pedaez A., J.C. Camilo Amescua J.C., Impacto negativo sobre la salud humana, de los rellenos sanitarios.

Introduccion Evironmental Research Foundation. 1998. The basics of landfills.
<http://www.zerowasteamerica.org/BasicsOfLandfills.htm>. The basics of landfills.
<http://www.zerowasteamerica.org/BasicsOfLandfills.htm>
http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2006/10/13/156373.php
<http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/intro.html> Primer an overview for environmental health professionals. Agencia norteamericana para las sustancias tóxicas y registro de enfermedades, EUA.<http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/intro.html>

(11) Color y composición de lixiviados
<http://www.ceamse.gov.ar/revista/rev3/elixiviadodelosresiduos.pdf>

(12) Magnament & Consulting. Biorecuperación de lixiviados de relleno sanitario. Dirección de investigación agroindustrial. <http://www.agroindustrial-amc.com/files/Proyecto%20para%20el%20Tratamiento%20de%20Lixiviados%20en%20Rellenos%20Sanitarios.htm>

(13) Metcalf y Eddy, (1995), Ingeniería.de aguas residuales. Mc Graw Ing. España.

(14) Maldonado L (2006) reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior. Estudio de caso; revista de ingeniería, 10-1pp. 59-68 ISSN Semarnat.2001.Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos.

(15) García Romero E. y Suárez Barrios M., Arcillas propiedades y usos. Universidad Complutense (Madrid), Universidad de Salamanca.

<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm>

(16) Domínguez J. M/Schifter I. 1995 primera reimpresión D:R:C: fondo de cultura económica.

http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec_6.html

(17) Domínguez J. M/ Schifter I. 1995 primera reimpresión D:R:C: fondo de cultura económica.

http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/55/htm/sec_3.html

(18) Publicación,

<http://www.minem.gob.pe/archivos/dgm/publicaciones/public03/diatomitas.htm>

(19) EPA (agencia de protección ambiental), método de análisis para agua potable. S.M. Manual de Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.

(20) Rocha Castro E. Principios Básicos de Espectroscopia. Uach México (2000), pag123-203 <http://html.espectroscopia-de-absorcion-atmica.html>

(21) presentación Hidritec, el agua en el mundo, tecnología y gestión de recursos hídricos, soluciones y tecnología <http://www.hidritec.com/doc-dqo.htm>

(22) Metcalf & Eddy INC Ing. de aguas residuales tratamiento, vertidos y reutilización. 3ra Edición, Mc Graw Hill

(23) NMX-AA-030-SCFI-2001 análisis de agua- determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba (canela a a la NMX-AA-030-1981)

(24) www.geociencias.unam.mx/~solari/index_files/Espectrometría%20de%20masas.ppt
<http://mural.uv.es/calolan/>

(25) NMX-AA-028-SCFI-2001 análisis de agua, determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba (cancela a la NMX-AA-028-1981)

(26) Manual de microbiología de la facultad de ciencias medicas y biológicas; UMSNH.

(27) Microbiología /Thomas D. Brock, Michael T. Madigan.

(28) Método de digestión acida para agua, Método 3005 A EPA (Agencia de Protección Ambiental).

(29) McFaddin `` Pruebas Bioquímicas para la Identificación de Bacterias de Importancia Clínica `` , 3ra Edición. Libro

GLOSARIO.

Andesíticos: erupciones de tamaño leve a moderado.

Ignimbríticos (ignimbritas): son sedimentaciones de corrientes del material expulsado del volcán (avalanchas ardientes). Se constituyen de ceniza, lapilli y bloques. son de mala selección o es decir de distribución irregular de los tamaños de granos, heterogéneas y porosas.

Basálticos (basalto): es una roca ígnea extrusiva, sólida y negra. Es el tipo de roca más común en la corteza terrestre, y cubre la mayoría del fondo oceánico.

Lacustre: desarrollo cerca o a las orillas de un lago.

Epiclásticos: son aquellos depósitos formados por fragmentos derivados de rocas preexistentes por la acción del intemperismo y la erosión, por lo que están compuestos principalmente de minerales silicatados y fragmentos de rocas sedimentarias, ígneas y/o metamórficas

Plioceno: quinta y última división del periodo terciario dentro del cenozoico en la escala de tiempos geológicos: se extiende desde hace 5,2 millones de años hasta 1,64 millones de años atrás.

Cuenca: (llanura sedimentaria, depresión o concavidad), accidente geográfico, superficie rodeada de alturas, o cuenca fluvial, territorio drenado por un sistema de drenaje natural

Litológica: Se aplica al ciclo geológico que incluye el proceso de formación, destrucción y transformación de una roca en otra.

Biogás: mezcla constituida por metano CH_4 en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno.

Anaerobio: Organismo que puede vivir y desarrollarse en ausencia completa o casi completa de oxígeno molecular libre.

Facultativos: Bacterias que pueden adaptarse para crecer y metabolizar tanto en presencia como en ausencia de oxígeno, es decir no importa el medio en el que se encuentran porque pueden subsistir sin necesidad de respirarlo como nosotros.

Teratogénico: malformaciones congénitas

Filosilicatos: constituidos por una unidad estructural Si-O que es un tetraedro de coordinación con el Si en el centro y cuatro oxígenos en cada uno de los vértices del tetraedro. Los tetraedros son pirámides de base triangular, con todas sus caras iguales, (cuatro triángulos equiláteros).

Meteorización: es el proceso de desintegración física y química de los materiales sólidos.

Aluminosilicato: es un mineral que contiene óxido de aluminio (Al_2O_3) y cuarzo (SiO_2).

Tectosilicato: Grupo de minerales, clase silicatos, caracterizados por presentar una estructura cristalina formada por una red tridimensional de grupos tetraédricos.

Petrográfica: estudio e investigación de las rocas.

Catálisis: proceso a través del cual se incrementa la velocidad de una reacción.

Isoterma: Línea que sobre un mapa une los puntos que tienen la misma temperatura.

Efluente: Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Alotrópico: propiedad que poseen determinados elementos químicos de presentarse bajo estructuras moleculares diferentes.

Tinción: procedimiento que se emplea para distinguir entre tipos diferentes de células o para revelar la presencia de determinados constituyentes celulares, tales como flagelos, esporas, cápsulas, paredes celulares, centros de actividad respiratoria, etc.