

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**



**PROPUESTA DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN FILTRO PARA  
AGUA UTILIZANDO ARCILLA PROVENIENTE DEL ÁREA DE METAPÁN**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR**

**FRANCISCO JOSÉ CONTRERAS LUCERO**

**NOEL EDMUNDO GARCÍA SIERRA**

**MARCO ANTONIO VILLALTA RECINOS**

**PARA OPTAR AL GRADO DE**

**LICENCIADO EN QUÍMICA Y FARMACIA**

OCTUBRE 2007

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA.



## **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

### **Rector**

MSc. Rufino Antonio Quezada Sánchez

### **Secretario General**

Lic. Douglas Vladimir Alfaro Chávez

## **FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**

### **Decano**

Lic. Salvador Castillo Arévalo

### **Secretario**

Licda. Morena Lizette Martínez de Díaz

## **COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

### **Coordinadora General**

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo

### **Asesora de Área de Análisis de Alimentos Fisicoquímico**

Ing. Rina Lavinia Hidalgo de Medrano

### **Asesora de Área de Calidad Ambiental**

Licda. Cecilia Haydee Gallardo de Velásquez

### **Docentes Directores**

Ing. Sergio Armando Maravilla Miranda

Licda. Dalila Guadalupe Anaya Rodríguez

# **AGRADECIMIENTOS**

## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

**A DIOS** todopoderoso por el Don de la vida y habernos permitido culminar nuestra carrera brindándonos principalmente la salud, fortaleza para seguir adelante, armonía en nuestro grupo para poder trabajar unidos.

**A NUESTROS ASESORES** Licenciada Dalila Guadalupe Anaya, Ingeniero Sergio Armando Maravilla, por habernos guiado durante todo el proceso de trabajo de investigación.

**A LA ALMA MATER**, por habernos brindado su apoyo durante todo el proceso de aprendizaje y por toda la motivación proporcionada para llevar a cabo nuestro trabajo de graduación y así obtener el título de Licenciatura en Química y Farmacia.

**A TODO EL PERSONAL DE LABORATORIOS LÓPEZ**, por habernos permitido realizar nuestra investigación, ya que sin su apoyo este trabajo no hubiera sido posible llevarlo a cabo.

**AL PERSONAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**, en especial a MSc. Mirna Lorena Sorto, y al Ing. Joaquín Barrientos, por su apoyo en el área de estadística, ya que sin su ayuda no hubiéramos culminado nuestra investigación.

**AL COMITE DE TRABAJOS DE GRADUACION**, por su apoyo y guía durante todo el proceso de evaluación.

**Francisco, Noel y Marco**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS PADRE TODO PODEROSO**, por iluminarme y acompañarme durante toda mi carrera y culminar esta gran etapa de mi vida.

**A MI ESPOSA Y MI HIJO**, Verónica Isabel y Christian Alejandro, por darme fortaleza para seguir adelante en momentos de desmayo y ser motivo de inspiración cada día de mi vida. Gracias por darme la oportunidad de formarme como un profesional, ya que con tanto amor y sacrificio que me brindaron durante este camino he logrado este gran sueño, dedico este triunfo a ustedes.

**A MIS PADRES**, Ana Virginia de Contreras y Francisco Emilio Contreras, por haberme brindado amor y comprensión. Por el gran esfuerzo y sacrificio realizado para ser de mí un profesional, y al mismo tiempo, una persona de bien.

**A MI TIO**, Hernán Contreras, por su incondicional apoyo y ayuda así como su interés por contribuir a mi formación profesional y personal. Mis oraciones por siempre.

**A MIS HERMANOS**, un sincero agradecimiento por apoyarme en toda la etapa de mi carrera, y de mi vida.

**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE TRABAJO DE GRADUACIÓN,**  
por compartir tantas experiencias, desvelos, comidas, trabajos, entre otras  
situaciones. Los quiero mucho, gracias por todo.

**A TODAS AQUELLAS PERSONAS,** que de una u otra manera  
contribuyeron al logro alcanzado. Mis más sinceros agradecimientos.

**Francisco José Contreras Lucero**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS TODO PODEROSO**, por haberme brindado su ayuda al desarrollar y culminar esta gran etapa de mi vida.

**A MIS PADRES**, Flor Olinda Sierra y Noel Edmundo García por haberme brindado amor y comprensión durante este camino, y durante toda mi vida.

**A MI ESPOSA Y A MI HIJA** Claudia Estela Mendoza de García y Fátima Alejandra García por darme la oportunidad de formarme como un profesional, brindarme de su amor y comprensión cada uno de nuestros días juntos.

**A MI HERMANA Y MI SOBRINO**, Karla Patricia García y Carlos Daniel Cortéz, por todo su amor y cariño fraterno que siempre me han brindando.

**A MIS ASESORES Y JURADOS DE TRABAJO DE GRADUACION**, ya que sin sus consejos y correcciones no hubiera sido posible culminar mi carrera.

**A MI FUTURO HIJO**, que aunque no ha nacido aún, merece un especial agradecimiento ya que es una razón poderosa para seguir cosechando éxitos.

**A TODAS AQUELLAS PERSONAS**, que de una u otra manera contribuyeron al logro alcanzado. Mis sinceros agradecimientos.

**Noel Edmundo García Sierra**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer en primer lugar a Dios todo poderoso ya que sin el, este sueño nunca hubiese sido realidad. Ya que el me regalo lo mas hermoso que me pudo dar en mi vida, mi Mami.

**A MI MAMI**, por el apoyo que me brindo en todos los años de mi vida desde mi infancia hasta este momento, agradecerle por comprender muchas cosas de mi y por haberme dado la oportunidad que estudiara la carrera que yo elegí, además por ser un gran ejemplo para mi ya que es una persona que a podido superarse en su vida. En resumen la persona más hermosa que e conocido y la mujer que mas amo y amaré hasta el día en que me muera.

**A MIS HERMANOS** Juan Carlos, Gracia Maria y Víctor Manuel porque juntos hemos vividos momentos agradables y desagradables pero todos tuvimos el coraje de salir adelante y a luchar por nuestros sueños y porque se que muy en sus adentros se sienten orgullos de saber que su hermano menor a conquistando un triunfo más en su vida.

**A MI TÍO OSMIN Y A MI MAMÁ CONCHI**, por estar siempre pendiente de mis hermanos y mi Mami y por su apoyo incondicional.

**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS**, Francisco y Noel por haberme permitido ser parte de su vida ya que en los últimos dos años de estudio compartimos tristezas y alegrías, y por darme la oportunidad de ser su compañero de tesis y decirles que siempre los voy a llevar en mi corazón y le pediré a Dios que me los cuide siempre a ustedes y a sus familias.

**A MIS CUÑADOS**, Chobeto Cáceres por ser un gran amigo y cuñado, y Lorena por que la consideró una amiga y no solo mi cuñada.

**A MI MEJOR AMIGO**, Edwin Arias que el sabe que es un hermano más y que siempre estaré a su lado en las buenas y en las malas.

Gracias a Oscar Rodrigo y a Marlon Antonio por aguantarme y por estar siempre con migo en mis tristezas y en mis alegrías.

Gracias a Evelín Patricia Vázquez Rodríguez que fue una amiga que me apoyo tanto en los últimos dos años de estudio fue unas de las primeras persona que me brindo su amista, su apoyo su cariño sincero sin esperar nada a cambio.

Gracias a Iván Gómez por ser un gran amigo y dar su amistad completa y no a medias.

**A LOS CATEDRÁTICOS**, que me enseñaron las bases de lo farmacéutico y por haberme tenido paciencia y por haberme enseñado algo tan bonito como lo es la química.

**POR ULTIMO, A LABORATORIOS LÓPEZ**, por haberme dado la oportunidad de aprender sobre la fabricación de medicamentos y por haberme dado tantas cosas que no tienen valor material, si no sentimental.

**Marco Antonio Villalta Recinos**

## INDICE

	Pág.
Resumen	
<b>Capítulo I</b>	
1.0 Introducción	xxii
<b>Capítulo II</b>	
2.0 Objetivos	
<b>Capítulo III</b>	
3.0 Marco Teórico	27
3.1 Generalidades de Filtros	27
3.2 Arcillas	29
3.2.1 Clasificación	34
3.2.2 Propiedades Fisico-Químicas	35
3.3 Depuración y Clarificación de Aguas	41
3.4 Estudio Bacteriológico	43
3.5 Formulación de Hipótesis	46
<b>Capítulo IV</b>	
4.0 Diseño Metodológico	48
4.1 Tipo de Estudio	48
4.2 Investigación Bibliográfica	48
4.3 Investigación de Campo	48
4.4 Universo	49
4.5 Muestra	49
4.6 Estudio Estadístico	49
4.7 Parte Experimental	51
<b>Capítulo V</b>	
5.0 Resultados y Discusión de Resultados	60
<b>Capítulo VI</b>	
6.0 Conclusiones	84
<b>Capítulo VII</b>	
7.0 Recomendaciones	87
Bibliografía	
Glosario	

Anexos

## ÍNDICE DE ANEXOS

### **ANEXO No.**

- 1 Mapa de ubicación de la mina de arcilla en el Municipio de Metapán.
- 2 Espectros de Difracción de Rayos X
- 3 Parámetros de Operación de Espectrofotómetro UV-VIS y Absorbancias Obtenidas
- 4 Tabla de interpretación prueba API-20E.
- 5 Resultados de Prueba API-20E.
- 6 Instrucciones de uso para Petrifilm 3M.
- 7 Fotografías de muestras incubadas.
- 8 Equipo de Laboratorio Utilizado en los Análisis
- 9 Normativa Oficial Salvadoreña para agua potable

## ÍNDICE DE CUADROS

### CUADRO No.

1. Clasificación de las arcilla.
2. Grupos de *Escherichia coli* patógenos según mecanismos para producir enfermedades
3. Parámetros que regulan el desarrollo de *Escherichia coli*.
4. Parámetros de Operación del Equipo Espectrofotómetro Ultravioleta - Visible; Marca Perkin-Elmer, Modelo: Lambda 2.

## ÍNDICE DE FIGURAS

### FIGURA No.

1. Representación de la estructura de los filosilicatos.
2. Forma fibrosa de las micas.
3. Gráfico C/X vs. C/Co
4. Diseño del filtro elaborado con sus respectivos componentes.
5. Filtro en funcionamiento.
6. Mapa de Ubicación de la mina de Arcilla en el Municipio de Metapán
7. Difractograma de Arcilla Acidificada.
8. Difractograma de Arcilla en estado natural.
9. Tabla de interpretación para prueba API-20E
10. Resultados de Prueba API-20E realizada.
11. Instrucciones de uso de Petrifilm para Recuento de *E. coli*.
12. Muestras incubadas llevadas a cuenta colonias.
13. Incubadora
14. Cuenta colonias
15. Autoclave

**16. Espectrofotómetro UV- Visible**

**17. Balanza Analítica**

**18. Conductímetro**

**19. Normativa Oficial Salvadoreña para agua potable**

## ÍNDICE DE TABLAS

### TABLA No.

1. Datos obtenidos para calcular la superficie específica de la arcilla por el método de adsorción de azul de metileno.
2. Rango de valores para obtener la gráfica de mejor tendencia lineal.
3. Unidades formadoras de colonias retenidas por los filtros elaborados con arcilla en su estado natural.
4. Unidades formadoras de colonias retenidas por los filtros elaborados con arcilla acidificada
5. Porcentajes de retención a diferentes tiempos de muestreo y altura, utilizando los dos tipos de arcilla
6. Análisis de varianza para experimento de tres factores con n réplicas
7. Rangos múltiples de prueba para Retención por Tiempo.
8. Rangos múltiples de prueba para Retención por Altura.
9. Rangos múltiples de prueba para Retención por Tipo de Arcilla.
10. Mediciones de pH obtenidas de muestras de agua de filtros elaborados con arcilla en su estado natural, en intervalos
11. Mediciones de pH obtenidas de muestras de agua de filtros elaborados con arcilla acidificada, en intervalos de 1 hora.
12. Medición de conductividad eléctrica de muestras de agua de filtros elaborados con arcilla en estado natural, a intervalos de 1 hora.

- 13.** Medición de conductividad eléctrica ( $\Omega$ ) de muestras de agua de filtros elaborados con arcilla acidificada, a intervalos de 1 hora
  
- 14.** Valores obtenidos de la evaluación del filtro con 9 cm
  
- 15.** Absorbancias iniciales y finales de las soluciones de azul de metileno preparadas a diferentes concentraciones, obtenidas según equipo Espectrofotómetro Ultravioleta -Visible.

## ABREVIATURAS

cm	centímetro
<i>E.</i>	<i>Escherichia</i>
Etc	Etcétera
Kg.	Kilogramo
L	Litro
LS	Menos Significativo (Less Significant)
LSD	Diferencia Menos Significativa (Less Significant Difference)
M	metro
mg	miligramo.
min.	minuto
mL	mililitro
N	Normal
nm	nanómetro
No.	Número
Pág.	Página
vrs.	versus
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
µm	micrómetro
UV-VIS	Ultravioleta - Visible

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en una propuesta de elaboración y evaluación de un filtro tomando como base la arcilla del área de Metapán. Se trabajó con dos tipos de arcilla, en su estado natural y acidificado.

Ambos tipos de arcilla fueron analizados por difracción de Rayos-X, para conocer sus componentes petrológicos y además se determinó la superficie específica de la arcilla natural por medio del método de "Azul de Metileno", obteniendo un valor de  $39.43 \text{ g/m}^2$ .

Posteriormente se elaboraron filtros con los dos tipos de arcilla, a diferentes alturas 3, 6 y 9 cm de capa filtrante; se evaluó su capacidad de retención de ***Escherichia coli*** en agua, así como también la variabilidad de otras características del agua como la conductividad eléctrica y el pH, para así conocer cuál es el filtro más eficiente y recomendar su uso.

El filtro que resultó más eficiente fue el de 9 cm de altura de arcilla natural como capa filtrante. A este filtro se le determinó su capacidad de filtración a un periodo de tiempo mayor, hasta saturación, utilizando para ello nuevas preparaciones de agua, llegando a filtrar en promedio 10 L/día. Se evidencia que la retención de ***Escherichia coli***, es una dependiente de todos los factores involucrados: tiempo de contacto, altura de la capa filtrante (arcilla) y el tipo de arcilla utilizada (acidificada o natural).

Se concluye que el filtro elaborado con 9 cm de arcilla en su estado natural es la mejor propuesta para obtener agua que cumpla con los parámetros que exige la Normativa Salvadoreña para agua potable.

Se recomienda elaborar estudios más profundos y específicos sobre materias primas naturales como en este caso, la arcilla para elaborar proyectos que puedan ayudar a la industria a mejorar procesos y disminuir costos, con la explotación de nuestros recursos naturales.



**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## 1.0 INTRODUCCION

En El Salvador, al igual que en muchas otras regiones del mundo, el deterioro ambiental es grave, y el estado de los recursos naturales se ve aun más afectado con el nivel de pobreza de la población, el desarrollo industrial, turístico y comercial; los que no están en armonía con la conservación de los recursos naturales, especialmente el agua y el suelo. Hoy en día el agua es un recurso natural que se encuentra altamente contaminado como producto de la misma actividad del hombre, tal es el caso de los desechos industriales.

El abastecimiento del agua potable es un problema para la mayoría de las comunidades ya que no se cuenta con un tratamiento efectivo de este vital líquido para que sea apto para el consumo humano.

Existen muchos procedimientos para la potabilización del agua. Este trabajo presenta una alternativa de solución, con el diseño de un filtro de arcilla que tiene las características de remover la contaminación microbiológica basándose en parámetros específicos según las Normativas Oficiales Salvadoreñas (NSO 13.07.01:99)<sub>(16)</sub>, además de poseer un manejo sencillo, lo cual es muy importante para la mayoría de la población, como también que sea factible adquirirlo para cualquier persona; entre los análisis que se realizaron a la arcilla para conocer sus características están: identificación por difracción de rayos - X, determinación de la superficie específica de la arcilla por el método de azul de metileno. Posterior a la elaboración de los filtros se determinó la conductividad eléctrica y el pH para verificar que las características

fisicoquímicas del agua no varían. De cada filtro se tomaron tres muestras de agua y posteriormente se analizó microbiológicamente para determinar la retención de ***Escherirchia coli.***, cabe mencionar que las pruebas se realizaron por separado para obtener mayor exactitud y presición.

## **CAPITULO II.**

### **OBJETIVOS**

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Propuesta de elaboración y evaluación de un filtro para agua utilizando arcilla proveniente del área de Metapán

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- 2.2.1.** Identificar cualitativamente los tipos de arcilla contenidas en la muestra obtenida en el área de Metapán por medio de la difracción de Rayos-X.
- 2.2.2.** Medir la superficie específica de la arcilla, por medio del método de azul de metileno.
- 2.2.3.** Elaborar filtros para agua utilizando arcilla del área de Metapán en su estado natural y acidificada.
- 2.2.4.** Determinar la efectividad de cada filtro midiendo la capacidad de retención de E. coli, conductividad eléctrica, y pH en muestras de agua.
- 2.2.5.** Determinar la capacidad de filtración de la arcilla, utilizando el filtro más eficiente.

**CAPITULO III**  
**MARCO TEORICO**

### 3.0 MARCO TEORICO

#### 3.1. GENERALIDADES DE FILTROS

##### **Historia respecto al uso de los filtros. (9)**

El primer filtro que se construyó para potabilizar agua fue un filtro lento de arena, en Gran Bretaña, durante el siglo XIX (1829), cuya finalidad era en aquel entonces, la remoción de turbidez de las aguas que abastecían pueblos y ciudades, operando a velocidades desde 0.95 a 9.5 metros cúbicos por día. A finales del siglo XIX en Estados Unidos, surgió el filtro rápido, el cual podía operar a una velocidad hasta 30 veces mayor que el filtro lento, necesitándose por ello, espacios mucho menores; el filtro rápido llegó a perfeccionarse a principios del siglo XX.

La diferencia fundamental que existe entre ambos filtros es el volumen de agua filtrada por unidad de superficie filtrante. La alta razón de filtración del filtro rápido es debido al empleo de coagulantes, precipitándose las impurezas contenidas en el agua, necesitándose una menor superficie filtrante, mientras que en el filtro lento el proceso es natural, no se utilizan agentes químicos.

En la actualidad el filtro lento es utilizado en algunas poblaciones del mundo, cuyas instalaciones se realizaron antes de que se descubriera el filtro rápido.

Existen dos tipos de filtros para el tratamiento doméstico del agua;

El filtro de arena, de grano bastante grueso.

El filtro de materiales arcillosos.

### **Filtro de arena**

Este se usa para filtrar el agua contaminada con materia orgánica o con grandes cantidades de minerales como hierro y manganeso.

El filtro no es efectivo para la bacteria del agua, por lo que el agua filtrada siempre debe tratarse con cloro o lejía para poder tomarla.

El filtro de arena es muy fácil de construir y mantener, se puede hacer con materiales disponibles en la localidad.

### **Filtro de material arcilloso**

Dentro de los filtros de material arcilloso tenemos:

Filtros de cerámica.

Filtros de diatomea.

### **Filtros de cerámica**

Hay varios tipos de filtros de cerámica; filtros de presión, filtros de gravedad y las bandas filtrantes y una gran diversidad de materiales de cerámica con poros de diferentes tamaños.

Las bujías filtrantes de grano grueso sirven para eliminar partículas en suspensión, los huevos de helmintos, las cercarias (que es una larva que penetra en la piel a través de agua infectada por caracoles) y los quistes.

Los filtros de porcelana deben limpiarse y hervirse periódicamente, cuando el filtro se ensucie o se obstruya; se frota bajo un chorro de agua con un cepillo

de cerda rígida que no tenga jabón, grasa o aceite y se hervirá después por unos 15-20 minutos.

### **Filtros de Diatomea**

Este tipo de filtro fue desarrollado con el objeto de eliminar los quistes de amebas de la disentería y las cercarias de la esquistosomiasis.

Las bujías filtrantes pueden mantenerse en un filtro de gravedad que consiste en dos depósitos de los cuales el superior lleva acoplado una o varias bujías.

El agua que se vierte en el recipiente superior se filtra por las bujías y se almacena por el consumo en el recipiente inferior. Los filtros de diatomea no pueden ser usados para aguas de alta turbidez.

### **3.2. ARCILLAS.<sup>(5)</sup>**

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).

Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas.

Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ .

Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser consideradas partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan los 2 $\mu\text{m}$ .

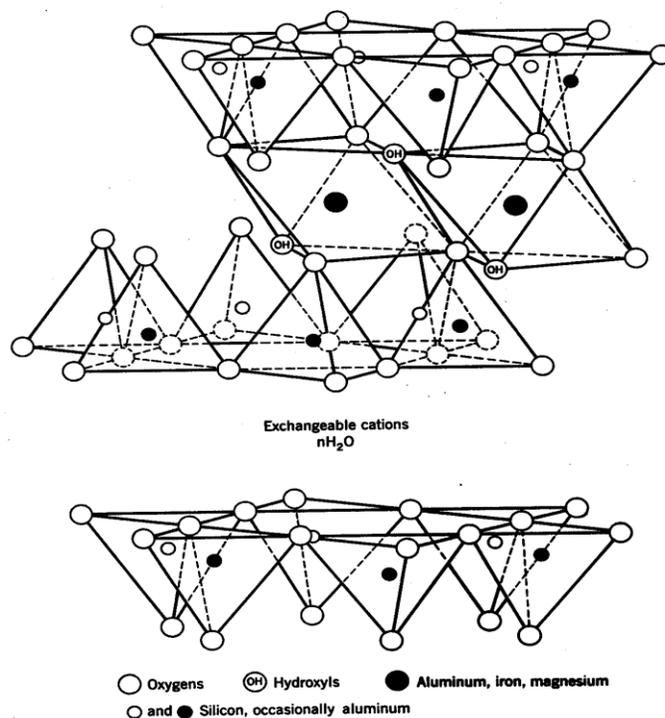
La arcilla es un constituyente esencial de gran parte del suelo y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

### **Estructura de los filosilicatos**

Las propiedades de las arcillas son consecuencia de sus características estructurales. Por ello es imprescindible conocer la estructura de los filosilicatos para poder comprender sus propiedades.

Las arcillas, al igual que el resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos y de grupos tetraédricos  $(\text{SiO})_4^{-4}$  que se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y 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  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ .

Estas capas tetraédricas se unen a otras octaédricas de tipo gibbsita o brucita. En ellas algunos  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Mg}^{2+}$ , pueden estar sustituidos por  $\text{Fe}^{2+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$  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 (ver figura 1).



**Figura No.1** Representación de la estructura de los filosilicatos.

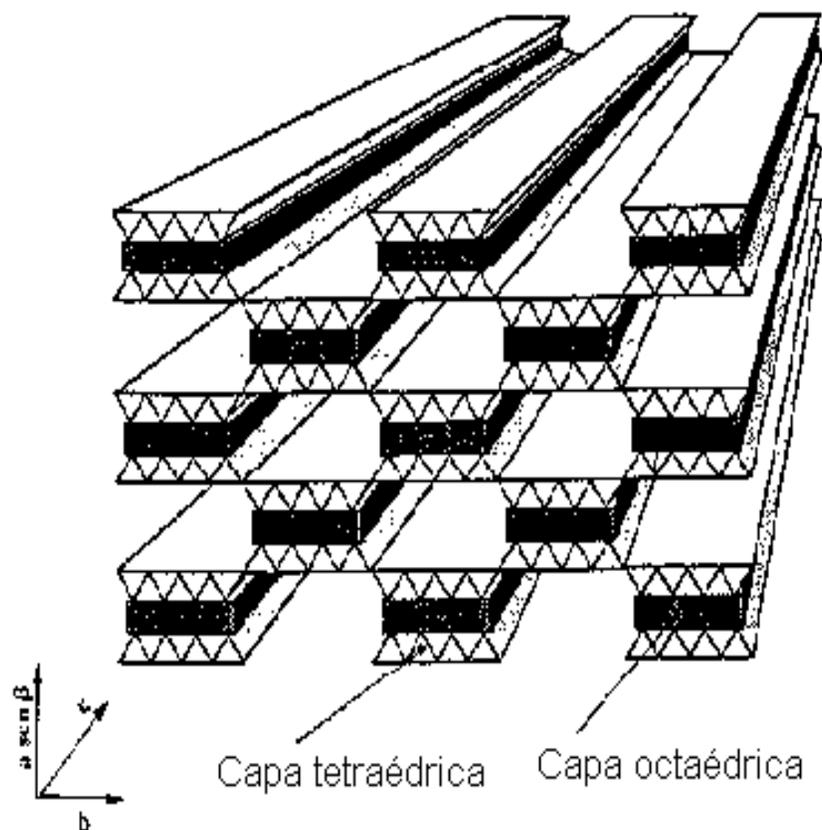
Una unión similar puede ocurrir en la superficie opuesta de la capa octaédrica. Así, los filosilicatos pueden estar formados por dos capas: tetraédrica más octaédrica y se denominan bilaminares, 1:1, o T:O; o bien por tres capas: una octaédrica y dos tetraédricas, denominándose trilaminares, 2:1 o T:O:T.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

Si todos los huecos octaédricos están ocupados, la lámina se denomina trioctaédrica ( $Mg^{2+}$  dominante en la capa octaédrica). Si solo están ocupadas dos tercios de las posiciones octaédricas y el tercio restante está vacante, se denomina dioctaédrica (el  $Al^{3+}$  es el catión octaédrico dominante).

En algunos filosilicatos (esmectitas, vermiculitas, micas...) las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga. El balance de carga se mantiene por la presencia, en el espacio interlaminar, o espacio existente entre dos láminas consecutivas, de cationes (como por ejemplo en el grupo de las micas), cationes hidratados (como en las vermiculitas y esmectitas) o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente, similares a las capas octaédricas, como sucede en las cloritas. A éstas últimas también se las denomina T:O:T:O o 2:1:1. La unidad formada por una lámina más la interlámina es la unidad estructural. Los cationes interlaminares más frecuentes son alcalinos (Na y K) o alcalinotérreos (Mg y Ca).

Las fuerzas que unen las diferentes unidades estructurales son más débiles que las existentes entre los iones de una misma lámina, por ese motivo los filosilicatos tienen una clara dirección de exfoliación, paralela a las láminas.

También pertenecen a este grupo de minerales la sepiolita y la paligorskita, a pesar de presentar diferencias estructurales con el resto de los filosilicatos. A diferencia del resto de los filosilicatos, que son laminares, las micas tienen hábito fibroso (Ver figura 2), ya que la capa basal de oxígenos es continua, pero los oxígenos apicales sufren una inversión periódica cada 8 posiciones octaédricas (sepiolita) o cada 5 posiciones (paligorskita). Esta inversión da lugar a la interrupción de la capa octaédrica que es discontinua.



**Figura 2.** Forma fibrosa de las micas, diferenciándose de los Filosilicatos.

### 3.2.1. CLASIFICACION

Los filosilicatos se clasifican atendiendo a que sean bilaminares o trilaminares y dioctaédricos o trioctaédricos (Cuadro No.1). Como puede verse pertenecen a los filosilicatos grupos de minerales tan importantes como las micas y las arcillas.

**Cuadro No. 1** Clasificación de las arcillas

DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS			CARGA
BILAMINARES T:O 1:1		Caolinita		Antigorita	X = 0
	CANDITAS	Nacrita	SERPENTINA	Crisotilo	
		Dickita		Lizardita	
		Halloisita		Bertierina	
TRILAMINARES T:O:T 2:1	Pirofilita		Talco		X = 0
		Montmorillonita		Saponita	X = 0,2-0,6
	ESMECTITAS	Beidellita	ESMECTITAS	Hectorita	
		Nontronita			
	Versiculitas		Versiculitas		X = 0,6-0,9
	Illitas				X = 0,9
		Moscovita		Biotita	X = 1
	MICAS	Paragonita	MICAS	Flogopita	
			Lepidolita		
T:O:T:O 2:1:1	CLORITAS				
FIBROSOS	Paligorskita		Sepiolita		

### 3.2.2. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2µm)
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio ínter laminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados.

Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tiene comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

### **Superficie específica**

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  $\text{m}^2/\text{g}$ .

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.

A continuación se muestran algunos valores promedios de superficies específicas de arcillas <sup>(5)</sup>:

Caolinita de elevada cristalinidad hasta 15 m<sup>2</sup>/g

Caolinita de baja cristalinidad hasta 50 m<sup>2</sup>/g

Halloisita hasta 60 m<sup>2</sup>/g

Illita hasta 50 m<sup>2</sup>/g

Montmorillonita 80-300 m<sup>2</sup>/g

Sepiolita 100-240 m<sup>2</sup>/g

Paligorskita 100-200 m<sup>2</sup>/g

### **Capacidad de Intercambio catiónico**

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH.

Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

1. Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
2. Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
3. Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina.

A continuación se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g) <sup>(5)</sup> :

Caolinita:	3-5
Halloisita:	10-40
Illita:	10-50
Clorita:	10-50
Vermiculita:	100-200
Montmorillonita:	80-200
Sepiolita-paligorskita:	20-35

### **Capacidad de absorción**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlamilar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita). La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por

capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

### **Hidratación e hinchamiento**

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa

disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

### **Plasticidad**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Refracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso <sup>(5)</sup>.

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe

a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

### **Tixotropía**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

### **3.3. DEPURACION Y CLARIFICACION DE AGUAS <sup>(2)</sup>**

En el empleo de montmorillonita como coagulante para la clarificación de las aguas que tienen un ligero grado de enturbamiento se tienen en cuenta las propiedades coloidales de las arcillas y la formación por los electrolitos contenidos en el agua, de coágulos que sedimentan. La montmorillonita es particularmente ventajosa en relación con el sulfato de aluminio y otras sales coagulantes:

- Permite tratar aguas de concentración salina mucho más reducida.
- Evita la producción de  $\text{CO}_2$ .
- No deja aluminio residual en las aguas tratadas.
- No aumenta la dureza del agua.
- Las operaciones posteriores de filtración se hacen más rápidamente debido a la falta de copos en el líquido clarificado, y la limpieza y entretenimientos de los filtros es más reducida.
- Se utiliza menos Montmorillonita que sulfato de aluminio por lo que hay una reducción de costo en el proceso.
- La acción de la Montmorillonita es más completa y más rápida.

En las aguas con impurezas provenientes de partículas de carbón e hidrocarburos aumenta notablemente el enturbamiento aún en presencia de pequeñas proporciones. Aquí la Montmorillonita tiene un efecto particularmente activo, pues sus partículas negativas se unen a las positivas de los carbones para formar muy rápidamente agregados que floculan.

Es así como, en las aguas impurificadas con turba, se obtiene una clarificación completa en 2 horas con 100 mg/ lt de Montmorillonita, resulta que, con sulfato de aluminio demora 12 horas utilizando 200 mg.

En el caso de aguas de alcantarillas ricas en materiales coloidales el tratamiento depende de la proporción de Montmorillonita añadida y del pH, siendo el más conveniente de 7.7.

### 3.4. ESTUDIO BACTERIOLOGICO <sup>(8)</sup>

#### GRUPO COLIFORME.

La *Escherichia coli* es una bacteria que habita normalmente en el intestino del hombre y animales de sangre caliente, y desempeña un importante papel en la fisiología del intestino, debido a ello se usa desde hace un siglo como “el mejor” indicador de contaminación con bacterias perjudiciales o patógenas para el hombre que tienen un hábitat común.

#### Clasificación de *Escherichia coli* según el mecanismo para enfermar.

Las *Escherichia coli* patógenas se agrupan según el tipo de enfermedad que producen en el hombre y en los animales, según se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro No.2** Grupos de *Escherichia coli* patógenos según mecanismos para producir enfermedades <sup>(8)</sup>

GRUPO	SÍMBOLO
<i>E. coli</i> enteropatógenos	ECEP
<i>E. coli</i> enteropasivos	ECEI
<i>E. coli</i> productoras de toxinas parecidas a las de Shigella.	ECST
<i>E. coli</i> enterotóxicos	ECET
<i>E. coli</i> de adherencia difusa	ECDA
<i>E. coli</i> enteroadherentes/enteroagregativas	ECEA

A cada uno de estos grupos pertenece varios serotipos. *Escherichia coli* pertenece a las ECST; las ECET son también conocidas como las causales de la diarrea del turista.

Debemos tener presente que también existe *Escherichia coli* genérica o biotipo 1, no patógena y es habitante normal del intestino. Pertenecen a este grupo todas las variedades serológicas que no son patógenas para el hombre ni para los animales.

### **Parámetros que regulan el desarrollo**

Todas son miembros de la familia Enterobacteriaceae, bacterias Gram negativas y no esporuladas. Es decir, de sencilla destrucción con el calor de la pasteurización. En el siguiente cuadro podemos observar los principales parámetros que regulan el desarrollo.

**Cuadro No.3** Parámetros que regulan el desarrollo de *Escherichia coli* <sup>(8)</sup>

PARAMETRO	MINIMO	OPTIMO	MAXIMO
TEMPERATURA	7-8	35-40	44-46
PH	4.4	6-7	9.0
ACTIVIDAD DE AGUA	0.95	0.995	--

Particularmente la *Escherichia coli* tolera condiciones de acidez mas bajas que las indicadas en el cuadro; algunas variedades de *Escherichia coli* se sabe

que sobrevive en mayonesa. Esto le permite atravesar la acidez del estómago sin verse afectada.

### **Enfermedad**

Puede ser leve o severa y se presenta a los 1 a 8 días del ingreso de la bacteria. Los niños menores de 5 años y los gerontes son los grupos más vulnerables. La dosis requerida para enfermar parece ser del orden de 10 a 100 células por g o cc. Se produce diarrea acuosa o usualmente con sangre, dolores abdominales severos, náuseas y vómitos, y a veces fiebre. La colitis hemorrágica puede derivar en una falla aguda del riñón o en Síndrome Urémico Hemolítico (SUH) en el 5% de los infectados. Del 3 a 5% de los que padecen SUH sufren la muerte. Los que consiguen recuperarse padecen fallas renales, complicaciones neurológicas y otras secuelas por mucho tiempo.

### **Epidemiología**

La bacteria se transmite por:

- Consumo de alimentos insuficientemente cocidos o crudos.
- Ingestión de agua contaminada.
- Contacto persona a persona
- Contacto con materia fecal de animales.

### **Reservorio**

La materia fecal de animales (bovinos, porcinos, etc.) y humanos, agua contaminada con heces. El ganado no se ve afectado por las toxinas que produce esta bacteria.

### 3.5. FORMULACION DE HIPOTESIS

En la elaboración de este proyecto, tomando en cuenta la investigación bibliográfica ,se formularon las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula:** la arcilla del área de Metapán tiene una capacidad de retención efectiva para la descontaminación del agua.

**Hipótesis Alternativa:** la arcilla del área de Metapán no tiene una capacidad de retención efectiva para la descontaminación del agua.

**CAPITULO IV.**  
**DISEÑO METODOLOGICO**

## **4.0 DISEÑO METODOLOGICO.**

### **4.1 Tipo de Estudio**

El tipo de estudio es Prospectivo-Experimental.

### **4.2 Investigación Bibliográfica:**

Se realizó en:

- Biblioteca de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de

El Salvador.

- Biblioteca de la Facultad de Arquitectura e Ingenierías de la

Universidad de El Salvador.

- Internet.

### **4.3 Investigación de Campo:**

La investigación se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y en el Laboratorio de Control de Calidad de Laboratorios López. S.A. de C.V.

### **4.4 UNIVERSO**

Como universo se tomó la arcilla proveniente del área de Metapán, se delimitó un perímetro de 10 m, en el lugar indicado (Anexo No. 1).

#### 4.5 MUESTRA

Se tomaron 10 muestras por duplicado de la misma procedencia, cada muestra se tomó al azar con una profundidad de 50 cm, y un peso aproximado de 1 kg.

#### 4.6 ESTUDIO ESTADISTICO <sup>(7)</sup>

A los resultados se les aplicó el **Análisis de Varianza para Experimento de Tres Factores con  $n$  Réplicas**, debido a:

- a) Permite comparar muestras diferentes, mientras sean de la misma naturaleza o variedad.
  
- b) Con este estudio se logra establecer cuál método de utilización de la arcilla (acidificada o sin acidificar) es el más recomendado para obtener mayor rendimiento.

Se considera un experimento con tres factores A, B y C en niveles a, b y c, respectivamente en un diseño experimental completamente aleatorizado. Teniendo  $n$  observaciones para cada una de las abc combinaciones de tratamiento. Se procedió a esbozar las pruebas de significancia para los tres efectos principales y las interacciones involucradas.

En muchas situaciones experimentales las interacciones de orden más alto son insignificantes y sus cuadrados medios reflejan únicamente variación aleatoria, pero el análisis se hace en forma general.

Con el objeto de que se puedan realizar pruebas válidas de significancia, se debe asumir que los errores son valores de variables aleatorias independientes y con distribución normal, cada una con media cero y variancia común.

La suma de cuadrados se particiona en ocho términos, cada uno representa una fuente de variación de las cuales se obtienen estimaciones independientes de la variancia común cuando todos los efectos principales y los efectos de interacción son cero. Si los efectos de cualquier factor o interacción dados no son todos cero, entonces el cuadrado medio estima la variancia del error más un componente debido a efectos sistemático en cuestión.

Para esta prueba se analiza la diferencia de las interacciones entre varios factores, en muestras diferentes pero de la misma naturaleza, para analizar su dependencia en el efecto deseado.

El modelo para el experimento de tres factores está dado por:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{ij} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

en donde:

$$i = 1, 2, \dots, a; \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 1, 2, \dots, c \quad \text{y} \quad l = 1, 2, \dots, n.$$

El enfoque al problema de muestras relacionadas incluye el conjuntar o aparear las muestras de acuerdo a alguna característica de interés.

\*Como herramienta se utilizó el software STATH GRAPHIC PLUS 2.0, para el análisis de los resultados obtenidos.

## **4.7 PARTE EXPERIMENTAL**

### **Recolección de la arcilla**

Las muestras de arcilla se colectaron en el área detallada (Anexo No.1), la dirección exacta de la mina es la siguiente: Carretera Internacional CA-1, en dirección al Norte, terreno contiguo al Mercado Municipal, dichas muestras se toman al azar con una profundidad aproximada de 50 cm., se colocan en bolsa plástica debidamente sellada y etiquetada.

### **Análisis de la arcilla**

#### **- Tratamiento previo de la arcilla**

Antes de su utilización la arcilla se trató de acuerdo a lo siguiente:

- 1.** Pulverizar la arcilla, en un mortero tratando de uniformizar el tamaño de partícula
- 2.** Lavar la arcilla colocando en un recipiente cilíndrico de plástico con tapón de rosca una proporción de 1:3 partes de arcilla:agua destilada.
- 3.** Dejar reposar durante 1 hora.
- 4.** Decantar el agua, en un recipiente de acero inoxidable y luego evaporar a sequedad.

5. Repetir el proceso de lavado y secado una vez más, con el residuo obtenido en el paso anterior.

**- Acidificación de la arcilla.**

1. Pesar aproximadamente 5 Kg. de arcilla previamente tratada.
2. Adicionar 25 L de ácido sulfúrico 3N, removiendo ocasionalmente de manera que se humedezca toda la arcilla.
3. Agitar la mezcla constantemente durante una hora.
4. Dejar reposar durante la noche, y decantar el líquido sobrenadante.
5. Lavar el sólido con 2 porciones de 12 litros de agua desmineralizada, y dejar reposar por 5 horas para luego descartar los lavados por decantación.

**- Identificación de componentes de la arcilla**

Se le realizó difracción de rayos X a la arcilla en su estado natural y acidificada para la identificación, utilizando un equipo Difractor de Rayos X, modelo Philips PW-1730 con sistema de adquisición y procesamiento de datos y programa asociado (Anexo No.2). Se procedió de la siguiente manera:

1. Colocar aproximadamente 100 mg de arcilla en su estado natural previamente pulverizada sobre un porta-objetos de 3x2 cm. y agregar una o dos gotas de agua.
2. Dispersar la muestra con el borde de otro vidrio, esparciéndola en la mitad del porta-objetos de manera uniforme y homogénea dejándola secar al aire.
3. Pasar la muestra por el Equipo Difractor de Rayos X.

#### **- Determinación de la Superficie Específica**

Se midió la superficie específica de la arcilla, por medio del método de azul de metileno.

Previamente se secó una muestra de la arcilla proveniente del área de Metapán, en estufa a 110 °C durante 48 horas.

Las isotermas de adsorción de azul de metileno se obtienen de la siguiente manera:

1. Colocar 10 muestras de 100 mg de arcilla en una serie de frascos con tapón esmerilado, los cuales contienen 100 mL de solución de azul de metileno, de las siguientes concentraciones en ppm: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 .
2. Agitar los frascos vigorosamente durante 12 horas y dejarlos en reposo en incubadora a 25<sup>0</sup>C por espacio de 24 horas.

3. Tomar una alícuota de 1 mL de cada una de las soluciones anteriores, y trasladarlas a una serie de 10 balones volumétricos de 200 mL. Llevar al aforo con agua destilada.
4. Determinar concentración final de cada solución mediante Espectrofotometría Ultravioleta-Visible a una longitud de onda ( $\lambda$ ) de 630 nm (Anexo No.3),.
5. Realizar los cálculos correspondientes.

#### **Elaboración del filtro.**

##### **- Tratamiento de la arena**

1. Tamizar la arena para separar la arena fina de la arena gruesa utilizando un tamiz número 18.
2. Lavar la arena tanto fina como gruesa, por separado, con suficiente agua desmineralizada hasta que los lavados sean claros.
3. Colocar la arena lavada en un recipiente adecuado con suficiente agua destilada, hasta cubrirla por completo.
4. Calentar y evaporar el agua hasta sequedad.
5. Dejar enfriar la arena.

### - Procedimiento de elaboración del filtro

1. Colocar dentro de un cilindro con tapón de rosca, de aproximadamente 50 cm de altura y 11cm de diámetro, los siguientes materiales en el orden de aparición:

- Circulo de Malla plástica, de 10cm de diámetro, como soporte
- Tela de tejido grueso como base
- Arcilla en su estado natural a diferentes alturas 3, 6, y 9 cm.
- 3 cm de arena fina
- 3 cm de arena gruesa.

(Figura No. 4)

2. Repetir este procedimiento con la arcilla acidificada.

3. Elaborar por duplicado cada filtro (a diferentes alturas, y con arcilla acidificada y en su estado natural).

### Verificación del funcionamiento de los filtros

1. Se realizó prueba API 20-E para identificación bioquímica de la bacteria ***Escherichia coli*** esta cepa fue proporcionada por el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Química y Farmacia ,Universidad de El Salvador, utilizando el método siguiente:

1.1 Preparar la cepa proporcionada en una suspensión de 5 mL de NaCl 0.85%, distribuir dicha suspensión en un set de tubos API 20-E.

1.2 Incubar el set preparado de 24 a 48 horas a una temperatura de  $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

1.3 Comparar los resultados con la tabla de interpretación API 20-E para ***Escherichia coli*** (Anexo No. 4 y 5).

2. Colocar el agua contaminada con una concentración de aproximadamente  $2.11 \times 10^{11}$  UFC de ***Escherichia coli*** dentro de los filtros diseñados.
3. Recoger 2 muestras, cada una de 10 mL de agua filtrada con intervalos de 30 minutos.
4. Colocar las 2 muestras recolectadas, cada una en un frasco que contenga 90 mL de caldo lactosado, incubar los frascos por 48 horas a  $37^{\circ}\text{C}$ .
5. Tomar 1 mL de cada frasco y trasladarlo a un tubo de ensayo que contenga 9 mL de caldo peptonado. Repetir este paso a cada muestra 6 veces en total.
6. Tomar de la última dilución 1 mL y se coloca en placas de Petrifilm 3M incubar por 48 horas a  $37^{\circ}\text{C}$  y leer en cuenta colonias (Anexo No. 6).
7. Llevar un control positivo, tratándolo de igual forma que la muestra pero sin pasarla por el filtro; y también un control negativo (blanco).

Se repite el proceso de elaboración, uso y métodos de análisis utilizando arcilla acidificada.

### - Evaluación del filtro más eficiente

Una vez identificado el filtro más eficiente para obtener agua que cumpla las especificaciones de la Normativa Salvadoreña, se evalúa su funcionamiento determinando la retención de *Escherichia coli*, tomando mediciones de conductividad eléctrica y pH, como también el volumen de agua filtrado en un intervalo de 120 h.

Proceder de la siguiente manera:

1. Colocar dentro del filtro de 9 cm de arcilla natural una nueva preparación de agua contaminada que contenga una concentración aproximada de  $2.11 \times 10^{11}$  UFC (Unidades Formadoras de Colonias).
2. Medir el volumen de agua que se filtra en intervalos de 12 horas por un lapso de 120 horas (5 días).
3. Recolectar 1 muestra de 10 mL de agua filtrada en cada intervalo de tiempo mencionado (12 horas).
4. Depositar la muestra en un frasco que contenga 90 mL de caldo lactosado, incubar los frascos por 48 horas a 37°C.
5. Tomar 1 mL de cada frasco y trasladarlo a un tubo de ensayo que contenga 9 mL de caldo peptonado. Repetir este paso a cada muestra 6 veces en total.
6. Tomar de la última dilución 1 mL y se coloca en placas de Petrifilm 3M incubar por 48 horas a 37 °C y leer en cuenta colonias (Anexo No. 6).

7. Llevar un control positivo, tratándolo de igual forma que la muestra pero sin pasarla por el filtro; y también un control negativo (blanco).
8. Medir el pH a cada muestra, tanto inicial como final.
9. Tomar la medida de la conductividad eléctrica de cada muestra tanto inicial como final.
10. Calcular el volumen de agua filtrado en el intervalo de tiempo estipulado.

## **CAPITULO V.**

### **RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Resultados obtenidos en el análisis de la arcilla acidificada por difracción de Rayos-X.

La muestra de arcilla acidificada analizada está compuesta por los siguientes tipos de arcilla:

Mm/Cl .....Montmorillonita/Clorita(interestratificadas)  
 Musc .....Moscovita  
 Nont .....Nontronita  
 Qz .....Cuarzo  
 PL .....Plagioclasa

**(Anexo No. 2, Figura No. 7)**

### Resultados obtenidos en el análisis de la arcilla en estado natural por difracción de Rayos-X.

La muestra de arcilla analizada está compuesta por los siguientes tipos de arcilla:

Sap .....Saponita  
 Mm/Cl .....Montmorillonita/Clorita(interestratificadas)  
 Musc .....Moscovita  
 Qz .....Cuarzo  
 PL .....Plagioclasa

**(Anexo No. 2, Figura No. 8)**

La arcilla sufre cambios estructurales en el proceso de acidificación, ya que la Saponita sufre modificación en su estructura y pasa de Saponita a Nontronita, lo que se evidencia al comparar los difractogramas de rayos X de las arcillas en estado natural y acidificado.

**Tabla No. 1** Datos obtenidos para calcular la superficie específica de la arcilla por el método de adsorción de azul de metileno. (Anexo No. 3).

Muestra	$C_0$ (ppm)	$A_0$	$C$ (ppm)	$A$	$C/C_0$	$X$	$C/X$
1	1.000	0,593	0,872	0,517	0,872	0,128	6.812
2	0.900	0,541	0,777	0,467	0,863	0,123	6.317
3	0.800	0,476	0,674	0,401	0,842	0,126	5.349
4	0.700	0,426	0,552	0,336	0,788	0,148	3.729
5	0.600	0,366	0,428	0,261	0,713	0,172	2.488
6	0.500	0,291	0,366	0,213	0,732	0,134	2.731
7	0.400	0,233	0,177	0.103	0,442	0,223	0.794
8	0.300	0,177	0,256	0.151	0,853	0,044	5.82
9	0.200	0,109	0,079	0,043	0,395	0,121	0.653
10	0.100	0,061	0.000	0.000	0.000	0,100	0.000

De donde:

$C_0$  = Concentración inicial     $A_0$  = Absorbancia inicial     $X = C_0 - C$  (gramo de azul de metileno por gramo de arcilla) .

$C$  = Concentración final     $A$  = Absorbancia final     $C/X = C / (C_0 - C)$

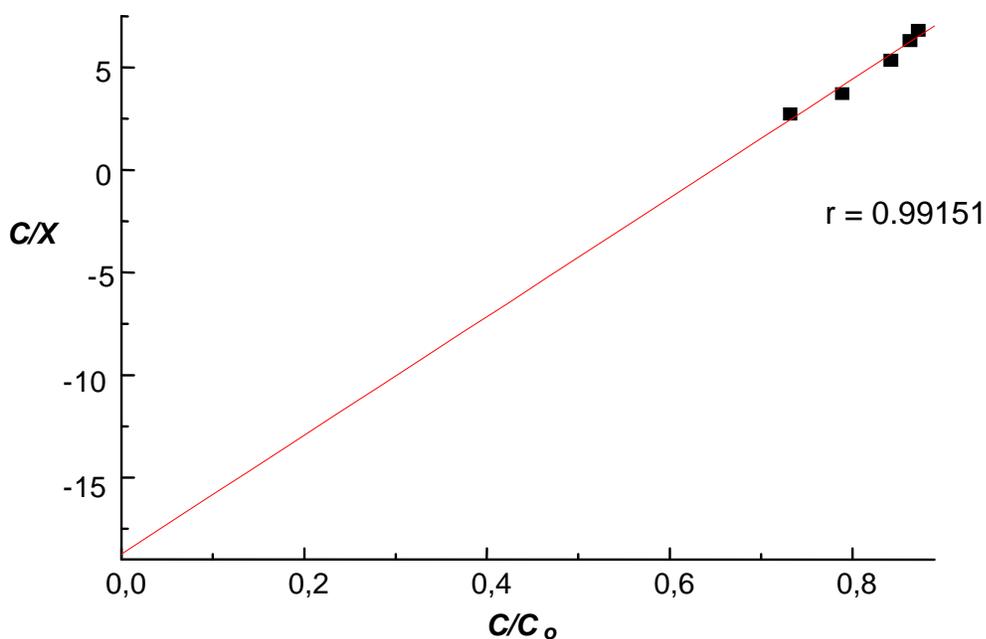
Graficando  $C/X$  vs.  $C/C_0$  y aplicando mínimos cuadrados se obtiene:

$$\frac{C}{X} = m \frac{C}{C_0} + b \quad r^2 = 0,98311 \quad m = 28,93129 \quad b = -18,72428$$

Los datos usados para obtener los valores de pendiente e intercepto se presentan en la tabla No. 2.

**Tabla No. 2** Rango de valores para obtener la gráfica de mejor tendencia lineal.

$C/X$	$C/C_0$
6.812	0.872
6.317	0.863
5.349	0.842
3.729	0.788
2.731	0.732



**Figura No. 3** Gráfico  $C/X$  vs.  $C/C_0$

Para obtener una mejor correlación entre los resultados se eligieron únicamente cinco datos, de los diez obtenidos en el proceso de análisis; dando como resultado un valor de  $r = 0.99151$  (Tabla No. 2), muy cercano a 1, lo que indica poca dispersión de los datos.

Para conocer  $S_w$  (superficie específica) se hace por la ecuación:

$$S_w = X_m N_o S$$

En donde:

$X_m$  = cantidad necesaria de azul de metileno para formar una monocapa sobre 1 g de arcilla.

$N_o$  = Número de Avogadro

$S$  = Superficie cubierta por una molécula de azul de Metileno adsorbida.

Calculando  $X_m$ :

$$X_m = \frac{1}{m + b}$$

En donde:

$m$  = pendiente de la gráfica

$b$  = intercepto de la gráfica.

$$X_m = \frac{1}{8.93129 - 18.72428}$$

$X_m = 0.09797$  (gramos de colorante/ gramos de bentonita)

Además convirtiendo a gramos el Número de Avogadro en relación con el peso molecular del azul de metileno (373.9 mol/g), se tiene:

$$N_0 = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times \frac{1 \text{ mol}}{373.9 \text{ g}} = 1.61006 \times 10^{21} \text{ g}^{-1}$$

Y convirtiendo  $\text{Å}^2$  en  $\text{m}^2$ , se obtiene:

$$25 \text{ Å}^2 \times \frac{1 \times 10^{-20} \text{ m}^2}{\text{Å}^2} = 25 \times 10^{-20} \text{ m}^2$$

( $25 \text{ Å}^2$ , es el valor más aceptable para la superficie cubierta por una molécula de azul de metileno ). <sup>(11)</sup>

Ahora calculando:

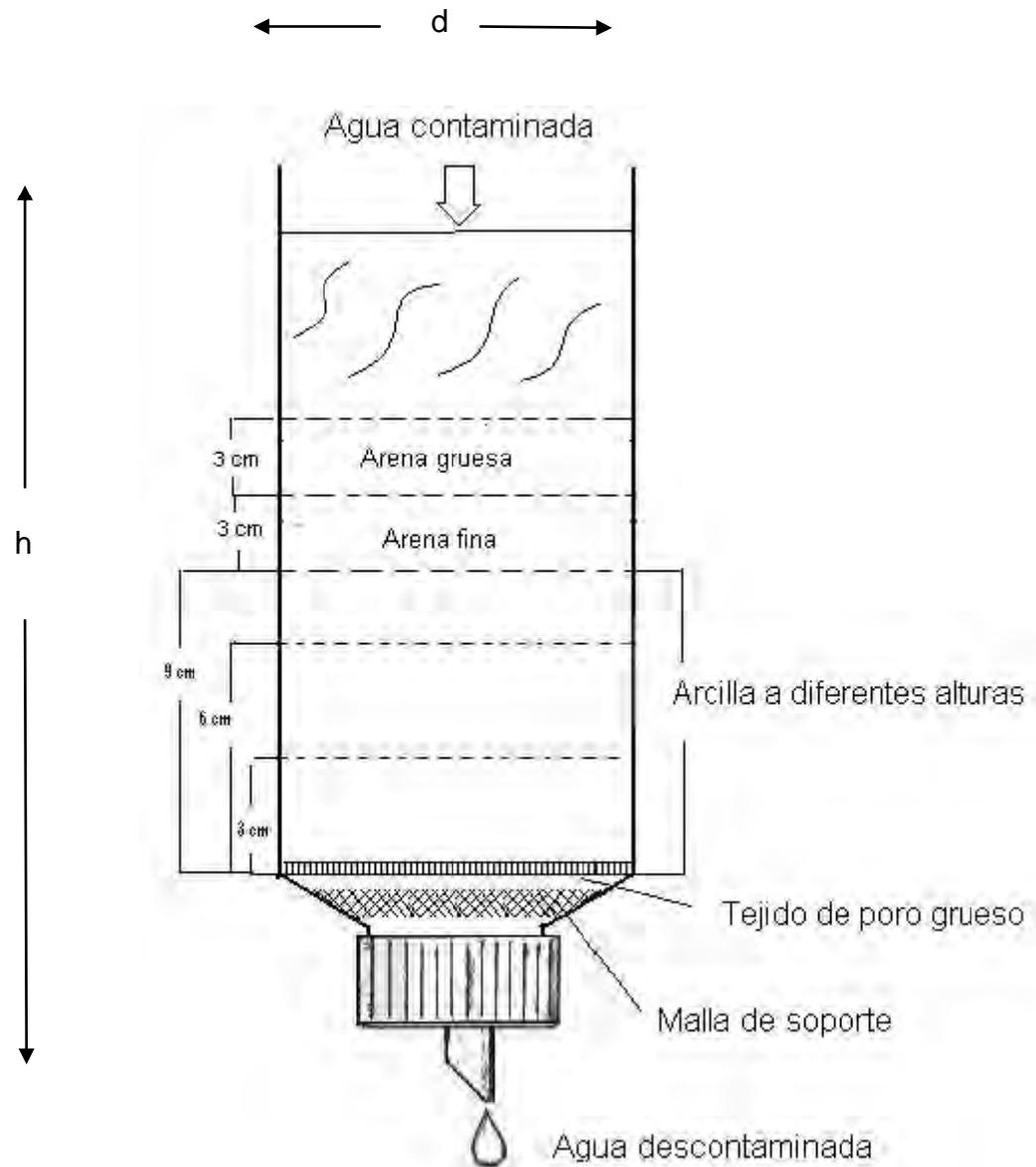
$$S_w = X_m N_0 S$$

Se tiene:

$$S_w = 0.09797 \frac{\text{g}}{\text{g}} \times 1.61003 \times 10^{21} \text{ g}^{-1} \times 25 \times 10^{-20} \text{ m}^2$$

$$S_w = 39.43 \text{ m}^2 / \text{g}$$

El valor de superficie específica encontrado para la arcilla proveniente del área de Metapán, por el método de absorción de azul de metileno, es de  $39.43 \text{ g/m}^2$ , lo que indica que la superficie específica de la arcilla en estudio se encuentra entre  $15$  y  $50 \text{ g/m}^2$ , característica importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende de ésta propiedad.



Diámetro (d) = 11 cm

Altura (h) = 53 cm

**Figura No. 4** Diseño de filtros elaborados con sus respectivos componentes.



**Figura No. 5** Filtro en funcionamiento

Las capas de arena fina y gruesa usadas como parte del lecho filtrante, además de contribuir en el proceso de filtración, ejercen presión a la arcilla, manteniéndola compacta y evitando que ésta se disperse y suspenda en el agua.

**Tabla No. 3** Unidades formadoras de colonias retenidas por los filtros elaborados con arcilla en su estado natural.

		Filtro A				
Altura de la arcilla	Control Positivo		Muestra 1		Muestra 2	
	t (minutos)	C <sub>o</sub> (UFC)	C Final (UFC)	% Retenido	C Final (UFC)	% Retenido
3 cm	60	264	198	25	195	26.1
	90	264	191	27.6	194	26.5
	120	264	199	24.6	205	22.3
6 cm	60	264	132	50	120	54.5
	90	264	135	48.9	129	51.2
	120	264	140	46.9	146	44.7
9 cm	60	264	66	75	70	73.5
	90	264	60	77.3	75	71.6
	120	264	69	73.9	60	77.3

UFC = Unidades Formadoras de Colonias

**Tabla No. 4** Unidades formadoras de colonias retenidas por los filtros elaborados con arcilla acidificada.

<b>Filtro B</b>						
<b>Altura de arcilla</b>	<b>Control Positivo</b>		<b>Muestra 1</b>		<b>Muestra 2</b>	
	t (minutos)	C <sub>o</sub> (UFC)	C Final(UFC)	% Retenido	C Final(UFC)	% Retenido
3 cm	60	264	134	49.2	130	50.8
	90	264	131	50.4	140	46.9
	120	264	128	51.5	120	54.5
6 cm	60	264	90	65.9	100	62.1
	90	264	84	68.2	74	71.9
	120	264	92	65.1	105	60.2
9 cm	60	264	48	81.5	32	87.8
	90	264	41	84.5	49	81.1
	120	264	45	82.2	38	85.6

UFC =Unidades Formadoras de Colonias

**Tabla No. 5** Porcentajes de retención a diferentes tiempos de muestreo y altura, utilizando los dos tipos de arcilla.

		ARCILLA SIN ACIDIFICAR (A <sub>1</sub> )			ARCILLA ACIDIFICADA (A <sub>2</sub> )		
MUESTRA		PORCENTAJE (%) RETENIDO			PORCENTAJE (%) RETENIDO		
	t (min) h (cm)	60	90	120	60	90	120
1	3	25	27,6	24,6	49,2	50,4	51,5
2	3	26.1	26,5	22,3	50,8	46,9	54,5
1	6	50	48,9	46,9	65,9	68,2	65,1
2	6	54.5	51,2	44,7	62,1	71,9	60,2
1	9	75	77,3	73,9	85,5	84,5	82,9
2	9	73.5	71,6	77,3	87,8	81,1	85,6

t = tiempo

h= altura

Al examinar la Tabla No. 5 se observa que a mayor altura de arcilla, se obtiene mayor porcentaje de retención de microorganismos, además los filtros elaborados con arcilla acidificada presentan mayor porcentaje de retención de **Escherichia coli**, que los filtros elaborados con arcilla en su estado natural.

## RESULTADO ESTADISTICO

**Tabla No. 6** Análisis de varianza para experimento de tres factores con  $n$  réplicas\*.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados medios</b>	<b>F Calculada</b>	<b>Valor de P</b>
<b>Efecto principal</b>					
A: altura	8840.53	2	4420.26	862.58	0.0000
B: arcilla	1983.22	1	1983.22	387.01	0.0000
C: tiempo	69.8017	2	34.9008	6.81	0.0063
<b>Interacción</b>					
AB	738.676	2	369.330	72.07	0.0000
AC	212.187	4	53.0467	10.35	0.0002
BC	131.271	2	65.6353	12.81	0.0003
ABC	108.691	4	27.1728	5.30	0.0053
residual	92.240	18	5.12444		
Total (corregido)	12176.60	35			

\* Se utilizó como herramienta el software STATH GRAPHIC PLUS 2.0, para el análisis de los resultados obtenidos.

La ANOVA (Tabla No.6) descompone la variabilidad de Retención en contribuciones, debido a varios factores. Se ha seleccionado, la contribución de cada factor es medida teniendo que eliminar los efectos de todos los demás factores. Los valores P prueban la importancia estadística de cada uno de los factores. Dado que los valores P son menores de 0.05, todos los factores o interacciones tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la Retención con un nivel de confianza del 95.0%.

**Tabla No. 7** Rangos múltiples de prueba para Retención por Tiempo.

<b>METODO: 95.0 POR CIENTO LSD</b>				
TIEMPO	CONTEO	LS PROMEDIO	LS SIGMA	GRUPOS HOMOGENEOS
60	12	55.45	0.653481	X
90	12	57.4583	0.653481	X
120	12	58.8417	0.653481	X
CONTRASTE			DIFERENCIA	+/- LIMITES
60 – 90			*-3.39167	1.94159
60 – 120			*-2.00833	1.94159
90 - 120			1.38333	1.94159

\* Denota una diferencia estadísticamente significativa.

Entre los tiempos 90 – 120 no existe diferencia significativa.

LSD: Diferencia Menos Significativa (Less Significant Difference)

**Tabla No. 8** Rangos múltiples de prueba para Retención por Altura

<b>METODO: 95.0 POR CIENTO LSD</b>				
<b>ALTURA</b>	<b>CONTEO</b>	<b>LS PROMEDIO</b>	<b>LS SIGMA</b>	<b>GRUPOS HOMOGENEOS</b>
3	12	37.9500	0.653481	X
6	12	57.4667	0.653481	X
9	12	76.3333	0.653481	X
<b>CONTRASTE</b>			<b>DIFERENCIA</b>	<b>+/- LIMITES</b>
3 - 6			*-19.5167	1.94159
3 - 9			*-38.3833	1.94159
6 - 9			*-18.8667	1.94159

\* Denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla No. 9** Rangos múltiples de prueba para Retención por Tipo de Arcilla.

<b>METODO: 95.0 POR CIENTO LSD</b>				
<b>ARCILLA</b>	<b>CONTEO</b>	<b>LS PROMEDIO</b>	<b>LS SIGMA</b>	<b>GRUPOS HOMOGENEOS</b>
SIN ACIDIFICAR	12	49.8278	0.533565	X
ACIDIFICADA	12	64.6722	0.533565	X
<b>CONTRASTE</b>			<b>DIFERENCIA</b>	<b>+/- LIMITES</b>
SIN ACIDIFICAR- ACIDIFICADA			*14.8444	1.58531

\* Denota una diferencia estadísticamente significativa.

En las Tablas No. 7, 8 y 9, se aplica a múltiples procedimientos estadísticos de comparación, determinando cuales mediciones son diferentemente significativas de las otras. La parte inferior de las tablas muestra la diferencia estimada entre cada par de mediciones. Un asterisco (\*) ha sido colocado próximo a los pares, indicando que éstos muestran una diferencia estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95.0%. En la parte alta de cada tabla los grupos homogéneos están identificados usando columnas de X's alineadas en forma vertical, dentro de cada columna, contenidas en X forman un grupo de mediciones entre las cuales no hay diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla No. 10** Mediciones de pH de muestras de agua obtenidas de filtros elaborados con arcilla en su estado natural, en intervalos de 1 hora

No. de medición	Filtro de 3 cm		Filtro de 6 cm		Filtro de 9 cm	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	7.0	6.9	7.2	6.5	7.4	6.7
2	7.1	6.6	7.3	6.4	7.5	6.6
3	7.3	6.5	7.1	6.5	7.5	6.5
4	7.0	6.9	7.0	6.4	7.4	6.7
5	7.4	6.7	7.3	6.4	7.3	6.5
6	7.5	6.8	7.4	6.5	7.4	6.5
7	7.3	6.6	7.3	6.6	7.2	6.7
8	7.4	6.4	7.4	6.5	7.3	6.6
9	7.0	6.7	7.3	6.5	7.3	6.5
10	7.1	6.9	7.2	6.5	7.4	6.4

**Tabla No. 11** Mediciones de pH de muestras de agua obtenidas de filtros elaborados con arcilla acidificada, en intervalos de 1 hora

No. de medición	Filtro de 3 cm		Filtro de 6 cm		Filtro de 9 cm	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	7.0	4.0	7.1	3.9	7.0	2.5
2	7.1	4.1	7.1	3.5	7.7	2.3
3	7.1	4.2	7.2	3.6	7.4	2.1
4	7.3	4.0	7.4	3.6	7.3	2.0
5	7.4	4.5	7.5	3.5	7.1	2.6
6	7.2	4.3	7.2	3.4	7.3	2.1
7	7.3	4.2	7.1	3.4	7.2	2.2
8	7.3	4.3	7.4	3.9	7.3	2.1
9	7.4	4.1	7.5	3.5	7.1	2.1
10	7.0	4.0	7.3	3.2	7.3	2.1

**Tabla No. 12** Medición de conductividad eléctrica( $\Omega$ ) de muestras de agua obtenidas de filtros elaborados con arcilla en estado natural, a intervalos de 1 hora

No. de medición	Filtro de 3 cm		Filtro de 6 cm		Filtro de 9 cm	
	Inicial( $\Omega$ )	Final( $\Omega$ )	Inicial( $\Omega$ )	Final( $\Omega$ )	Inicial( $\Omega$ )	Final( $\Omega$ )
1	425	400	425	200	425	150
2	425	380	425	180	425	120
3	425	410	425	215	425	170
4	425	350	425	190	425	160
5	425	390	425	175	425	155
6	425	300	425	205	425	150
7	425	375	425	200	425	146
8	425	370	425	160	425	120
9	425	415	425	250	425	130
10	425	400	425	200	425	150

**Tabla No. 13** Medición de conductividad eléctrica ( $\Omega$ ) de muestras de agua obtenidas de filtros elaborados con arcilla acidificada, a intervalos de 1 hora

No. de medición	Filtro de 3 cm		Filtro de 6 cm		Filtro de 9 cm	
	Inicial( $\Omega$ )	Final( $\Omega$ )	Inicial( $\Omega$ )	Final( $\Omega$ )	Inicial( $\Omega$ )	Final( $\Omega$ )
1	425	550	425	600	425	800
2	425	520	425	575	425	725
3	425	480	425	625	425	780
4	425	450	425	600	425	815
5	425	510	425	610	425	770
6	425	475	425	645	425	766
7	425	460	425	550	425	801
8	425	500	425	500	425	745
9	425	524	425	590	425	710
10	425	400	425	610	425	800

Los filtros con arcilla acidificada producen gran disminución del pH y aumento de la conductividad eléctrica en el agua filtrada. Por el contrario los filtros elaborados con arcilla en estado natural disminuyen la conductividad eléctrica del agua filtrada, sin alterar considerablemente el pH manteniéndolo aceptable; tal como se puede observar en las Tablas 10, 11, 12 y 13.

**Tabla No.14** Valores obtenidos de la evaluación del filtro con 9 cm de altura de arcilla natural (más eficiente),

TIEMPO (h)	UFC (Unidades Formadoras de Colonias)			CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ( $\Omega$ )		pH		VOLUMEN FILTRADO (L)
	INICIO* (UFC)	FINAL (UFC)	% RETENIDO	INICIAL ( $\Omega$ )	FINAL ( $\Omega$ )	INICIAL	FINAL	
0	252	**-----	**-----	415	**-----	7.0	**-----	0
12	252	70	72.2	415	170	7.1	6.5	6.6
24	252	65	74.2	415	160	7.2	6.4	5.7
36	252	70	72.2	415	140	7.1	6.4	5.0
48	252	60	76.2	415	150	7.3	6.3	4.9
60	252	60	76.2	415	140	7.0	6.2	4.5
72	252	72	71.4	415	155	7.3	6.5	4.4
84	252	77	69.4	415	160	7.1	6.3	4.5
96	252	76	69.8	415	165	7.0	6.3	4.5
108	252	80	68.2	415	200	7.2	6.5	4.7
120	***-----	85	66.3	***-----	250	***-----	6.5	5.3

\*Valor obtenido de Nueva preparación de agua contaminada con *Escherichia coli*

\*\*A tiempo cero, no se tienen valores finales.

\*\*\*Al final del periodo de análisis (120 h), el valor inicial es el de 12 horas antes.

Volumen filtrado en el transcurso del experimento (120 horas):

$$V(L) = 6.6 + 5.7 + 5.0 + 4.9 + 4.5 + 4.4 + 4.5 + 4.5 + 4.7 + 5.3$$

$$V(L) = 50.1 \text{ Litros.}$$

De los resultados obtenidos se considera que el filtro elaborado con 9 centímetros de altura de capa filtrante de arcilla natural es el filtro con mayor eficiencia de retención de *Escherichia coli*, y que a la vez mantiene la conductividad eléctrica y el pH del agua en valores aceptables para su uso.

En la Tabla No.14 se observa el comportamiento del filtro más eficiente, funcionando durante 5 días consecutivos, se recolectó cada 12 horas una muestra de agua filtrada, para evaluar el funcionamiento del filtro.

Se observa en cada intervalo, disminución del volumen filtrado, lo que evidencia la saturación del filtro.

Durante todo el experimento el pH se mantiene más o menos estable, la conductividad eléctrica disminuye notablemente, aunque a las 84 horas de transcurrido el experimento se observa que la arcilla comienza a retener menos iones del agua.

Con respecto a la retención de *Escherichia coli*, se observa que a partir de las 72 horas de uso del filtro comienza a disminuir, reteniendo al final del experimento aproximadamente un 10% menos que al inicio.

La cantidad de agua que se filtró en lo que duró el experimento (120 horas) fue de 50.1 L (10 litros de agua por día).

**CAPITULO VI.**  
**CONCLUSIONES.**

## 6.0 CONCLUSIONES

1. La arcilla del área de Metapán está formada por una variedad de tipos de arcillas, con características distintas unas de otras, cada cual puede aportar características específicas al filtro.
2. La difracción de Rayos X verifica que la arcilla natural sufre cambios estructurales en su composición química, cuando es tratada con ácidos.
3. El cuarzo es el mineral más común y se encuentra distribuido por todo el mundo como componente de rocas, arena, arcillas y en depósitos puros.
4. La disminución del volumen en la medición del caudal se debe a la saturación de la capa filtrante de arcilla; y su leve aumento posterior, al final del periodo de experimentación es debido a la formación de micro canales en las capas filtrantes, lo cual permite también el paso de iones y microorganismos.
5. En el estudio realizado se comprobó que los filtros elaborados con arcilla son capaces de retener bacterias coliformes, así como también los iones del agua.

6. La capacidad de retención de bacterias coliformes en los filtros, es directamente proporcional a la altura de la capa filtrante de arcilla.
7. Los filtros elaborados con arcilla acidificada afecta en gran manera las características físico-químicas del agua, ya que disminuye considerablemente el pH y aumenta la conductividad eléctrica, aunque inhibe considerablemente el crecimiento de *Escherichia coli* en el agua.
8. El filtro elaborado con 9 cm de arcilla en su estado natural es la mejor propuesta para obtener agua que cumpla con los parámetros que exige la Normativa Salvadoreña para agua potable, dado que no modifica significativamente las características físico-químicas del agua (pH y conductividad eléctrica), y además retiene de manera eficaz la ***Escherichia coli***.
9. La retención de ***Escherichia coli*** por los filtros elaborados, es dependiente de todos los factores involucrados: tiempo de contacto, altura de la capa filtrante (arcilla) y el tipo de arcilla (acidificada o natural).

**CAPITULO VII**  
**RECOMENDACIONES**

## 7.0 RECOMENDACIONES

1. Utilizar arcilla proveniente de Metapán podría ser utilizada para disminuir la carga iónica de sustancias en estado acuoso.
2. Emplear la arcilla del área de Metapán en investigaciones posteriores y así estudiar la disminución de contaminantes metálicos en aguas residuales.
3. Usar en estudios posteriores arcilla en su estado natural con una altura no menor a 9 cm de lecho filtrante con el que se obtiene mejores resultados tanto fisicoquímicos como microbiológicos.
4. Promover investigaciones que lleven a utilizar los recursos naturales salvadoreños, de una forma más eficiente, para resolver problemas existentes en nuestro medio con recursos al alcance de comunidades de bajo nivel económico. Como es el uso de filtros para agua artesanales, en zonas rurales y/o marginales que no tienen acceso a agua potable.
5. Realizar más investigaciones de la calidad del agua obtenida en filtros artesanales elaborados con arcilla, y de esta forma llevar a la práctica un proyecto de potabilización de agua, para favorecer aquellas áreas en especial rurales en las que no se cuenta con servicio de agua potable.

6. Promover estudios en donde se investiguen y analicen todas las minas de arcillas que existen en el país, ya que este recurso por las diversas propiedades que presentan pueden ser utilizado en varias ramas de la industria, además de su conocido uso en cerámica artesanal.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ascencio, O. y otros 1995. Instalación y Evaluación del Funcionamiento de un filtro de arena de goteo lento para potabilización de agua en la comunidad rural La Pinera, Municipio de Apopa, San Salvador. Trabajo de Graduación. Facultad de Ingeniería. Universidad de El Salvador, 182 p.
2. Carraro, R. 2002. Depuración y Clarificación de aguas (en línea). Córdoba Ar. Consultado el 3 de Abril de 2004. Disponible en :  
[http://usuarios.advance.com.ar/sidercom/productos\\_montmorillonita.html](http://usuarios.advance.com.ar/sidercom/productos_montmorillonita.html)
3. Departamento de Sanidad del Estado de New York 2000. Manual de Tratamiento de Aguas. 1ª Edición. Editorial Limusa. Vol. 3 150 p.
4. Echavarría, A. y otros.1998. Uso de Bentonita en aguas residuales de Curtiembres para la remoción de Cromo (III). Revista Colombiana de Química. Vol. 27 (No. 1). Consultado en Abril 2004. Disponible en:  
<http://www.icfes.gov.co/revistas/recolqui/98271/te.html>
5. García, E. y otros. Las Arcillas, propiedades y usos. Manual en línea de Recursos Minerales. España. Consultado el 5 de Abril de 2004.  
Disponible en:  
<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm#CLASIF>

6. Hernández, C. y otros. 1988. Diseño y construcción de un filtro de agua para uso domiciliario en áreas rurales. Trabajo de Graduación. Facultad de Ingeniería, San Salvador. 115 p.
7. Castaneda, M. y otros. Cuantificación del Contenido de la proteína total en bagazo de la naranja valencia (*Citrus Sinensis*) enriquecida con el *Aspergillus Níger*. Trabajo de Graduación, Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador, San Salvador. 44 p.
8. Michaine, S. 2003. La Bacteria que disparó el HACCP en la industria de la Carne. Revista de la Unión de la Industria Cárnica Argentina. (No.17), p. 40-42. Consultado el 4 de Abril 2004. Disponible en:  
<http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/vph/cards/ecoli.html>
9. Morales, C. y otros. 2002. Elaboración de un filtro para Reducir la contaminación fisicoquímica del agua en las comunidades El Buen Samaritano y en el Barrio Concepción de San Luís La Herradura. Trabajo de Graduación. Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador, San Salvador. 70 p.
10. Pinzón, J. 1997. Superficie específica de una Bentonita mediante la adsorción de azul de Metileno. Revista Colombiana de Química. Bogotá, Colombia. Vol. 26 No. 1. 13 p.

11. Talaro, K. y otro..1996. Foundations in Microbiology. Second Edition. California.USA. Times Mirror Higher Educations Group Inc. 861 p.
12. Vargas, L. Plantas de Tratamientos de Filtros Lentos. OPS (Organización Panamericana de la Salud) (en línea). Consultado el 7 de Abril de 2004.  
Disponible en:  
[http:// www. Cepis.ops-org/eswww/fulltext/tratagua/lenta/lenta1.html](http://www.Cepis.ops-org/eswww/fulltext/tratagua/lenta/lenta1.html)
13. Petrifilm 3M. Placa para el Recuento de *E. coli*. Guía de Interpretación.
14. Walpole, R. y Otros. 1992. Probabilidad y Estadística. Cuarta Edición. Editorial Mc Graw-Hill/ Interamericana de México, S.A de C.V.  
Consultado el 17 de Septiembre de 2005.
15. Microsoft Corporation, Microsoft Student con Encarta Premium 2007 DVD
16. CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). Normativa Oficial Salvadoreña para el agua potable NSO 13.07.01:99 .  
Disponible en:  
<http://www.fao.org/Regional/LAmerica/prior/recnat/laderas/protec/6.pdf>  
Consultada el 20 de Marzo de 2007.

## GLOSARIO<sup>(15)</sup>

**Arcilla:** Suelo o roca sedimentaria, plástica y tenaz cuando se humedece. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina. De gran importancia en la industria, la arcilla se compone de un grupo de minerales aluminosilicatos formados por la meteorización de rocas feldespáticas. El grano es de tamaño microscópico ( $0.2 \mu\text{m}$ ) y con forma de escamas. Esto hace que la superficie de agregación sea mucho mayor que su espesor, lo que permite un gran almacenamiento de agua por adherencia, dando plasticidad a la arcilla y provocando la hinchazón de algunas variedades. <sup>(5)</sup>

### **Área Superficial o**

**Superficie Específica:** 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  $\text{m}^2/\text{g}$ . <sup>(5)</sup>

**Cuarzo:** El mineral más común, compuesto por dióxido de silicio, o sílice,  $\text{SiO}_2$ .

Distribuido por todo el mundo como componente de rocas o en forma de depósitos puros.

**Escherichia coli:** Bacteria con forma de bastón (bacilo), que pertenece a la familia de las Enterobacteriáceas; está considerada como el material biológico más utilizado en experimentación. Esta bacteria se encuentra en el tracto intestinal de los mamíferos. La especie comprende varios grupos que se establecen según su actividad.

**pH:** Término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución. (del francés *pouvoir hydrogène*, 'poder del hidrógeno').

**Rayos X:** Radiaciones electromagnéticas penetrantes, cuya longitud de onda va desde unos 10 nm hasta 0,001 nm, producida bombardeando un blanco con electrones de alta velocidad.

## **ANEXOS**

**ANEXO No. 1**

**MAPA DE UBICACIÓN DE LA MINA DE ARCILLA EN EL MUNICIPIO  
DE METAPÁN**



**ANEXO No. 2**

**ESPECTROS DE DIFRACCION DE RAYOS X**

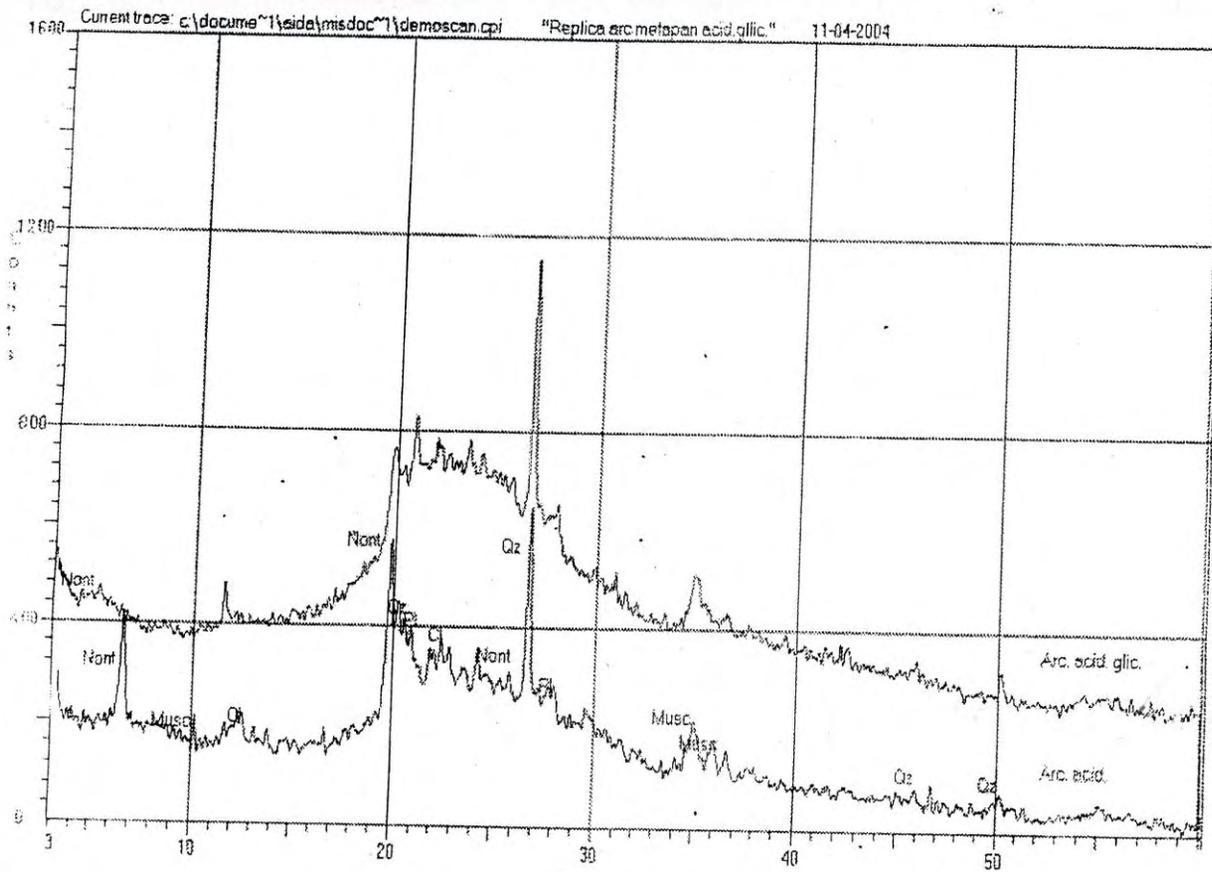
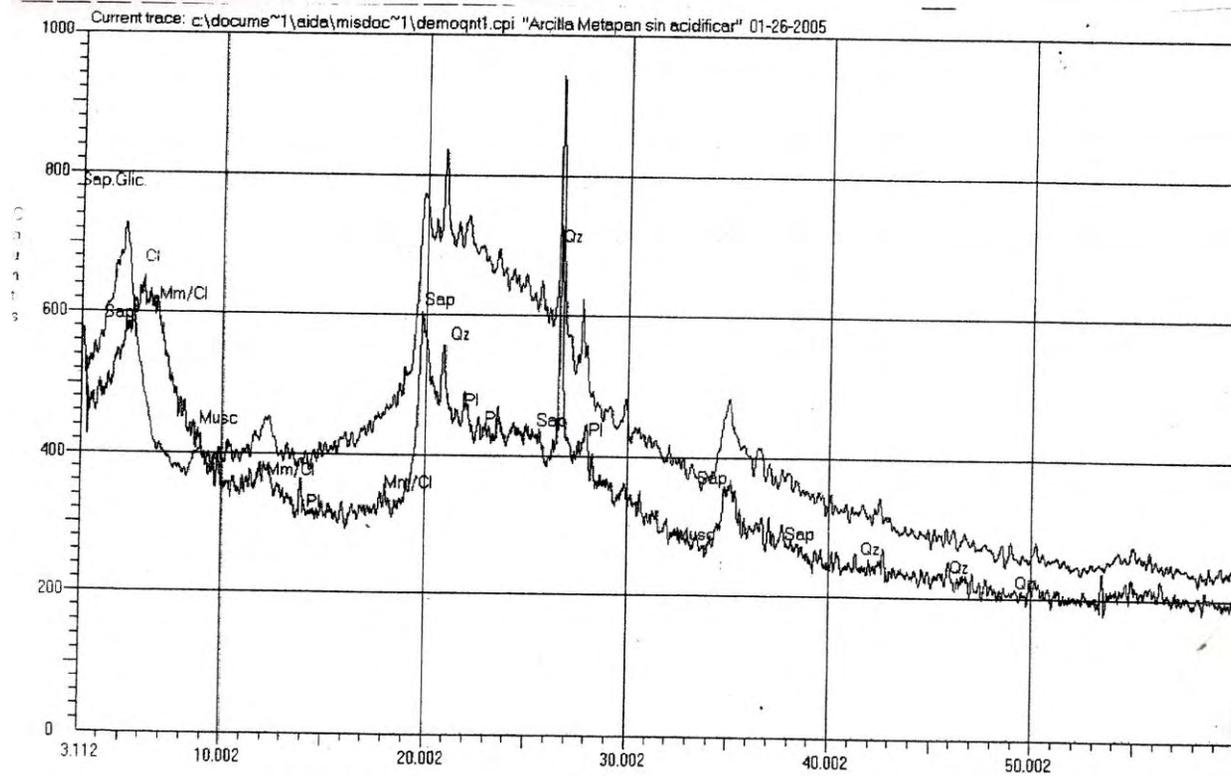


Fig. No. 7. Difractograma de Arcilla acidificada



**Fig. No. 8.** Difractograma de Arcilla en estado natural.

**ANEXO No. 3**

**PARAMETROS DE OPERACIÓN DEL ESPECTROFOTOMETRO UV-  
VIS Y ABSORBANCIAS OBTENIDAS**

**Cuadro No. 4** Parámetros de Operación del Equipo Espectrofotómetro Ultravioleta -Visible; Marca Perkin-Elmer, Modelo: Lambda 2.

METHOD	3 WAVPR/MAN	METHOD	3 WAVPR/MAN
ORDINATE MODE:	ABS	GRAPHICS PLOT	YES
# WAVELENGTHS:	1	ORD. MAX.	1.0 ABS
WAVEL. 1 :	630 NM	ORD. MIN.	0.0000 ABS
RESPONSE:	0.5 SEC.	ABSCISSA	100MM /MIN
LAMP:	UV+VIS	GRID	YES
BACK CORR:	YES	AUTO METHOD	YES
SAMPLES /BATCH:	10		
START SAMPLE:	1		
CYCLES:	1		
CYCLE TIME:	0.10MIN.		

**Tabla No. 15** Absorbancias iniciales y finales de las soluciones de azul de metileno preparadas a diferentes concentraciones, obtenidas según equipo Espectrofotómetro Ultravioleta -Visible.

$C_0$ (ppm)	$A_0$	$C$ (ppm)	$A$
1.000	0,593	0,872	0,517
0.900	0,541	0,777	0,467
0.800	0,476	0,674	0,401
0.700	0,426	0,552	0,336
0.600	0,366	0,428	0,261
0.500	0,291	0,366	0,213
0.400	0,233	0,177	0.103
0.300	0,177	0,256	0.151
0.200	0,109	0,079	0,043
0.100	0,061	0.000	0.000

**ANEXO No. 4**

**TABLA DE INTERPRETACION PRUEBA API-20E**

# api 20 E

READING / LECTURE - INTERPRETATION

*Klebsiella pneumoniae pneumoniae* ATCC 35657



*Enterobacter cloacae* ATCC 13047



*Proteus mirabilis* ATCC 35659



*Stenotrophomonas maltophilia* ATCC 51331



*Escherichia coli* ATCC 25922



\*Reaction result may change over time / Le résultat de la réaction peut changer au cours du temps

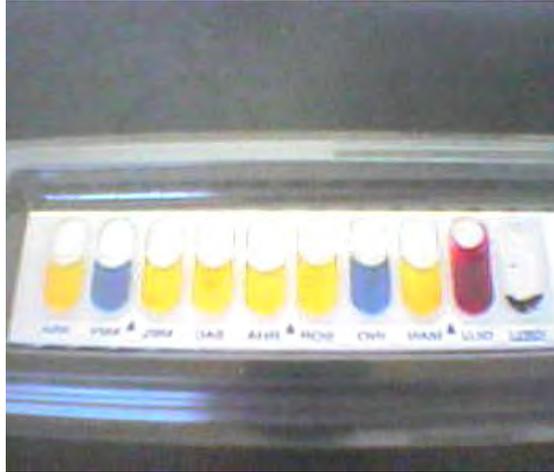


The above examples are not intended to replace the reading table shown in the package insert. Les exemples ci-dessus ne sont pas destinés à remplacer le tableau de lecture de la notice technique.

Figura No. 9 Tabla de Interpretación para Prueba API-20 E.

**ANEXO No. 5**

**RESULTADOS DE PRUEBA API-20E**



**Placa Izquierda**



**Placa Derecha**

**Figura No. 10** Prueba API-20 E realizada.

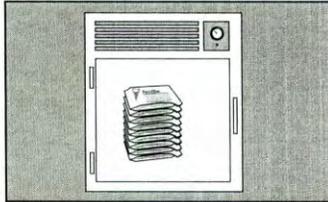
**ANEXO No. 6**

**INSTRUCCIONES DE USO PARA PETRIFILM 3M**

# Petrifilm Recuento de *E. coli*

## Instrucciones de uso

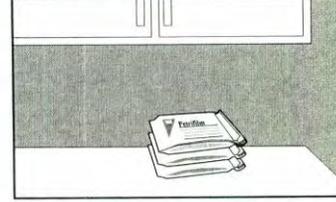
### Almacenamiento



1 Refrigerar las bolsas cerradas. Usar antes de la fecha de caducidad impresa en la bolsa.

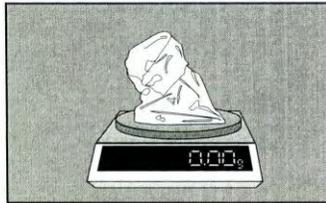


2 Para cerrar las bolsas, doblar los extremos y cerrarlos con celo.

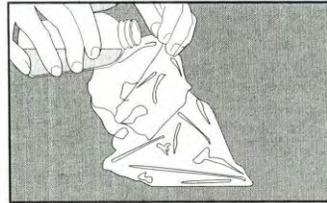


3 Mantener las bolsas cerradas de nuevo a  $\leq 21^{\circ}\text{C}$ , a  $\leq 50\%$  HR. No refrigerar las bolsas abiertas. Usar las placas Petrifilm durante un mes después de su apertura.

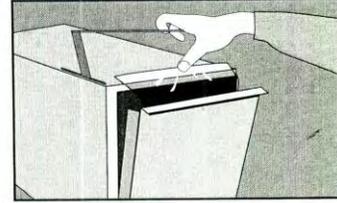
### Preparación



4 Preparar una dilución del producto alimenticio a 1:10 o superior. Pesar o pipetear la muestra en una bolsa Whirlpac™, bolsa Stomacher, botella de dilución, o cualquier otro contenedor estéril apropiado.

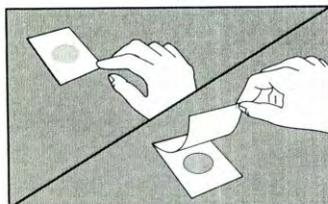


5 Añadir una cantidad adecuada de diluyente. Pueden ser los métodos standard de tampón fosfato, agua peptonada al 0,1%, triptona sal, agua destilada, solución salina fosfato tamponada o tampón de Butterfield. No utilizar tampones que contengan citrato de sodio o tiosulfato.

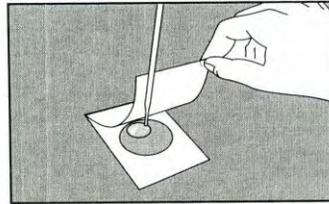


6 Mezclar u homogeneizar la muestra mediante los métodos usuales. Si se requiere una sensibilidad mayor con productos lácteos o zumos consultar el folleto para Petrifilm en productos lácteos y zumos.

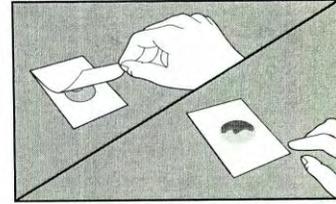
### Inoculación



7 Colocar la placa Petrifilm en una superficie plana. Levantar el film superior.



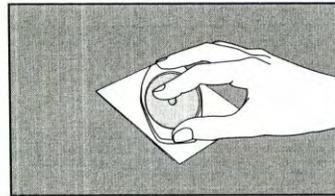
8 Con una pipeta perpendicular a la placa Petrifilm colocar 1 ml. de muestra en el centro del film inferior.



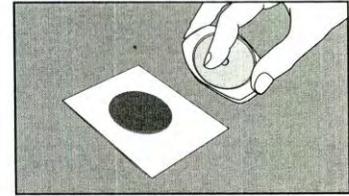
9 Bajar el film superior con cuidado evitando introducir burbujas de aire. No dejarlo caer.



**10** Con la cara lisa hacia abajo, colocar el aplicador en el film superior sobre el inóculo.

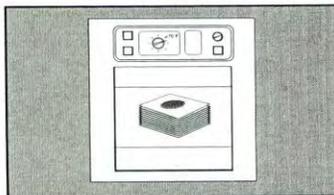


**11** Con cuidado, ejercer una presión sobre el aplicador para repartir el inóculo sobre el área circular. No girar ni deslizar el aplicador.



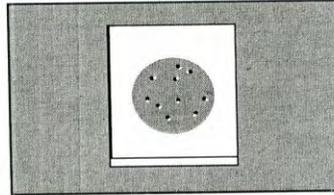
**12** Levantar el aplicador. Esperar un minuto a que solidifique el gel.

### Incubación



**13** Incubar las placas Petrifilm cara arriba en pilas de hasta 20 placas, según las normas locales de incubación para tiempo y temperatura así: incubar las placas por  $24 \pm 2$  horas y realizar recuento de coliformes y *E. coli*. Algunas colonias de *E. coli* necesitan más tiempo para que se evidencie la precipitación azul, entonces reincubar las placas por  $24 \pm 2$  horas y realizar nuevamente el recuento.

### Interpretación



**14** Leer las placas Petrifilm en un contador de colonias standard tipo Quebec o una fuente de luz con aumento. Para leer los resultados consultar la Guía de Interpretación.

### Comentarios adicionales

- Los pasos 9 y 10 son únicos para las placas Petrifilm *E. coli*.
- Nota: recordar inocular y poner el aplicador antes de pasar a la siguiente placa.

**3M**

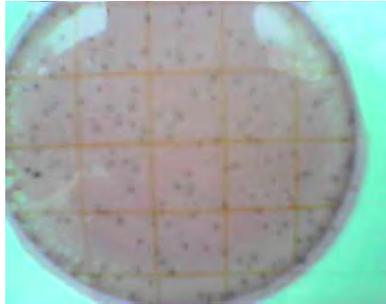
Productos Microbiológicos

Whirlpac es una marca registrada de Nasco.  
Petrifilm es una marca registrada de 3M.  
© 3M 1995 70-2008-8105-3 (125.5)ii

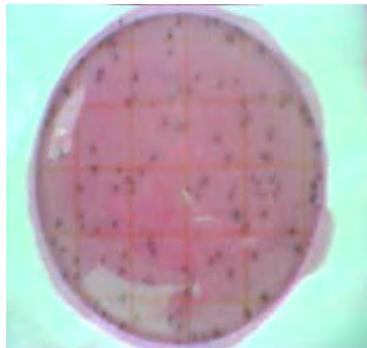
**Figura No. 11** Instrucciones de uso de Petrifilm para Recuento de *E. coli*.

**ANEXO No. 7**

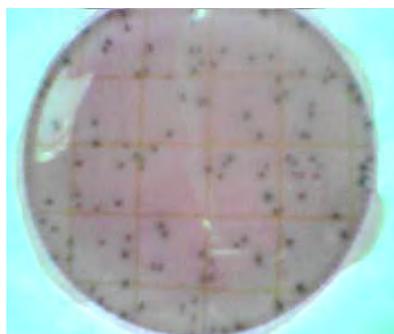
**FOTOGRAFÍAS DE MUESTRAS INCUBADAS**



Vista de colonias de *E. coli* en Petrifilm (filtro 3 cm)



Vista de colonias de *E. coli* en Petrifilm (filtro 6 cm)



Vista de colonias de *E. coli* en Petrifilm (filtro 9 cm)

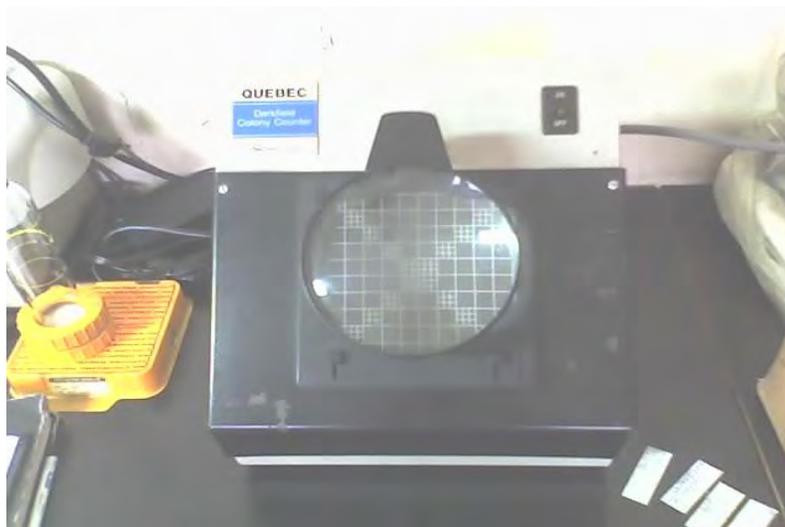
**Figura No. 12** Muestras incubadas, llevadas a cuenta colonias.

**ANEXO No. 8**

**EQUIPO DE LABORATORIO UTILIZADO EN LOS ANALISIS**



**Fig. 13 INCUBADORA**



**Fig. 14 CUENTA COLONIAS**



**Fig. 15 AUTOCLAVE**



**Fig. 16 ESPECTROFOTOMETRO UV-VISIBLE**



**Fig. 17 BALANZA ANALITICA**



**Fig. 18 CONDUCTIVIMETRO**

**ANEXO 9**  
**NORMATIVA SALVADOREÑA OFICIAL PARA AGUA POTABLE**

## Parámetros de calidad de agua potable en El Salvador

Extraído de la NORMA SALVADOREÑA NSO 13.07.01:99, editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT

### Calidad Microbiológica

Parámetro	Valor Máximo Admisible		
	Técnica		
	Filtración por membranas	Tubos múltiples	Placa vertida
Bacterias coliformes totales	0 UFC/100 ml	< 1.1 NMP/100 ml	
Bacterias coliformes fecales	0 UFC/100 ml	Negativo	
Escherichia coli	0 UFC/100 ml	Negativo	
Conteo de bacterias heterótrofas, aeróbicas y mesófilas	100 UFC/ml max.		100 UFC/ml
Organismos patógenos	Ausencia		

### Calidad Físico-Química

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color aparente	-	NR	-
Color verdadero	mg/l (Pt-Co)	-	15
Conductividad	µmhos/cm a 25 °C	500	1,600
Olor	Nº de umbral de olor	NR	3
pH	-	6.0-8.5	-
Sabor	Nº de umbral del sabor	NR	1
Sólidos totales disueltos	mg/l	300	600
Temperatura	°C	18 a 30	NR*
Turbiedad	UNT	1	5

**Valor Recomendado:** Corresponde a la concentración de sustancias o densidad de bacterias donde no hay riesgo sobre la salud de los consumidores.

**Valor Máximo Admisible:** Corresponde a la concentración de sustancias o bacterias a partir de la cual provoca rechazo por parte de los consumidores y donde existe un riesgo para la salud. La superación de estos valores implica toma de acciones correctivas inmediatas.

**NR** - No rechazable

\* De no encontrarse en el rango recomendado queda sujeto a evaluaciones de potabilidad.

**Figura No. 19** Normativa Salvadoreña Oficial para agua potable