



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERÍA**

ÁREA ACADÉMICA DE MATERIALES Y METALURGIA

***“CARACTERIZACIÓN DEL YACIMIENTO DE DIATOMITA
DE LOMA LARGA, MUNICIPIO DE ACATLÁN, HIDALGO
Y EVALUACIÓN DE SUS APLICACIONES ALTERNAS”***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MINERO - METALÚRGICO

PRESENTA:

IVÁN BORGEL ESPINOZA

**DIRECTORES: M. EN C. JUAN HERNÁNDEZ ÁVILA
DR. ELEAZAR SALINAS RODRÍGUEZ**

FEBRERO DEL 2007

ÍNDICE

	página
RESUMEN	1
OBJETIVO	2
JUSTIFICACIÓN	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	6
I.1 Composición química de la diatomita	8
I.2 Propiedades físicas promedio de la diatomita	9
I.3 Proceso de producción del mineral	10
I.4 Descripción del proceso de producción	11
I.5 Usos y aplicaciones industriales de la diatomita	12
I.6 Propiedades fisicoquímicas del arsénico	14
I.7 Intercambio iónico	14
I.8 Estados productores de diatomita en México	15
I.9 Producción de diatomita en México	16
CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL	17
II.1 Localización y acceso al área de estudio	17
II.2 Muestreo	19
II.3 Preparación de la muestra obtenida de mina	19
II.4 Análisis por difracción de rayos-x	20
II.5 Análisis por microscopía electrónica de barrido	21

II.6 Espectrofotometría de absorción atómica	22
II.7 Muestra de agua utilizada	23
II.8 Tratamiento de diatomita como adsorbente	23
II.9 Condiciones de operación para la disminución de arsénico en agua potable por intercambio iónico	24
II.10 Análisis de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros	24
II.11 Determinación de la concentración de elementos o iones de la muestra	25
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIONES	26
III.1 Resultados de difracción de rayos-x	26
III.2 Caracterización vía microscopía electrónica de barrido	27
III.3 Espectrofotometría de absorción atómica	29
III.4 Resultados obtenidos de la diatomita calcinada	30
III.5 Usos propuestos de la diatomita en base a los resultados obtenidos	32
III.6 Resultados del intercambio iónico de la diatomita	33
CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXOS	39
GLOSARIO DE TÉRMINOS	45
LISTA DE ABREVIATURAS	47
LISTA DE FIGURAS	48
LISTA DE TABLAS	49

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la caracterización del mineral “diatomita” colectado en la comunidad de Loma Larga, municipio de Acatlán, Hgo.; empleando diferentes técnicas de análisis instrumental, tales como: Difracción de Rayos X, Espectrometría de Absorción Atómica, Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma por Acoplamiento Inductivo y Microscopia Electrónica de Barrido.

Las fases mineralógicas principales determinadas en este mineral son: cuarzo, berlinita, ortoclasa, andesina, feldespato potásico y albita; y su composición química es: 76 % de SiO_2 , 11.63 de Al_2O_3 , 1.95 de FeO , 1.79 de MgO , 2.4 de K_2O , 0.61 de Na_2O , 0.85 de CaO y 0.50 de TiO_2 .

Muestras de diatomita se calcinaron en un horno rotatorio bajo diferentes condiciones y los productos obtenidos se analizaron por espectroscopia de absorción atómica, encontrándose un incremento en la concentración de sílice de 5.5% en diatomita natural calcinada, mientras que para la calcinada con un fundente incremento la concentración de sílice en 6%. Otras propiedades del material en estudio también fueron afectadas como el tamaño promedio de poro, ya que para la diatomita natural es de 1.5 μm , 3 μm para la diatomita calcinada y 7 μm para la calcinada con fundente.

El tamaño de poro es una de las propiedades más importantes del material en virtud de que es ampliamente utilizado en la fabricación de filtros para procesos de la industria alimentaría.

Por lo anteriormente expuesto, el material en estudio se utilizo como adsorbente e intercambiador iónico para la disminución de contenido de arsénico en agua potable, sin embargo, el material presento una saturación rápida de arsénico, por lo que se considera que el material no es adecuado para este uso.

OBJETIVO

Caracterizar la diatomita del yacimiento de Loma Larga, municipio de Acatlán Hidalgo, determinar sus usos industriales; así como una posible aplicación como adsorbente natural para la disminución de contenido arsénico en agua potable.

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo tiene como propósito la generación de información y conocimiento de la diatomita de la región de Acatlán, Hgo., para conocer sus cualidades y usos industriales, mediante una caracterización que permita conocer sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas; ya que actualmente el mineral es vendido sin darle un valor agregado (tal como se extrae del depósito) desconociendo la calidad del mismo y por consiguiente las aplicaciones alternas que pudiera tener.

Por lo tanto, este estudio pretende dar a conocer los mercados a los que puede ingresar en base a las propiedades de la diatomita, tanto natural como calcinada así como un posible uso como filtro en la disminución de arsénico mediante intercambio iónico.

INTRODUCCIÓN

Los filtros son materiales ampliamente usados en una gran variedad de industrias, ya que nos permiten eliminar o disminuir la presencia de algunos elementos no benéficos para la industria. Actualmente se realizan investigaciones dentro de los nuevos materiales alternos de filtración, particularmente en la tecnología de membranas de filtración, uno de ellos es el método de microfiltración en membrana a contraflujo (Crossflow Microfiltration, CFMF), en el cual los líquidos pasan a gran velocidad a través de un canal revestido con polímeros, cerámico o fibras de membrana ^[1, 5,15].

El establecimiento de esta tecnología en la industria cervecera ha sido bastante lento, ya que los subproductos de este proceso son difíciles de procesar mediante este método, debido a su alto contenido de impurezas, principalmente de las levaduras utilizadas en el proceso de fermentación, además de que sólo permite filtrar cantidades limitadas de producto debido a su rápida saturación. La tecnología CFMF puede implementarse con mayor facilidad en las industrias del vino y la sidra debido a la menor cantidad de impurezas.

Otros materiales utilizados como filtros alternos incluyen talco, arena sílica, mica, arcilla, diatomita, perlita, vermiculita, caliza y silicatos sintéticos; los silicatos empiezan a tomar una posición importante para este proceso, ya que como derivados de la sílice son mucho más homogéneos en cuanto a calidad y dimensiones.

La diatomita por su parte ha tenido un amplio uso como material filtrante, ya que presenta excelentes propiedades tales como: alta porosidad, baja densidad, alta capacidad para adsorber líquidos y es químicamente inerte, entre otras de sus propiedades.

No obstante la existencia de una gran variedad de filtros en desarrollo, el panorama para la diatomita se vislumbra en general positivo debido a que muchas

industrias aplican el proceso de filtración en el desarrollo de sus productos, en virtud de que las propiedades de la diatomita superan a cualquier otro sustituto natural.

La diatomita se ofrece en tres grupos de presentaciones con diferentes tamaños de partículas ^[1,4]:

- Natural.- Es la forma natural de la diatomita en el sentido que no contiene ningún agente externo.
- Calcinados.- Se obtienen por calcinación directa sin agente químico.
- Calcinados con fundente.- Se obtienen por calcinación, se le adiciona un compuesto químico que actúa como agente fundente y genera partículas de mayor tamaño y más permeable.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

Actualmente en el Estado de Hidalgo se han detectado 3 lugares donde existen yacimientos de diatomita, estos son: Santa Clara en el municipio de Emiliano Zapata, Tierras Blancas en el municipio de El Cardonal y Loma Larga en el municipio de Acatlán, Hgo., de este último yacimiento no existe ningún estudio de caracterización, por esta razón se decidió realizar la investigación de este sitio. La ubicación de los anteriores yacimientos están referenciados en las cartas geológico-mineras y geoquímicas, Tasquillo escala 1:50000 y la carta Meztitlán escala 1:50000 [2].

La explotación de la diatomita en la región de Acatlán actualmente alberga aproximadamente 20 empleos directos, y los métodos empleados son rudimentarios, lo cual hace que sean improductivos y de baja rentabilidad, ocasionando un inadecuado aprovechamiento de los yacimientos. La demanda de la diatomita de esta región del Estado de Hidalgo se ve favorecida por la cercanía de las industrias consumidoras, que principalmente son las industrias productoras de filtros, fármacos, pinturas, etc. Sin embargo, no se han desarrollado estudios que permitan conocer el potencial real de la diatomita, así como su calidad y morfología lo cual nos podría permitir proponer algunos otros usos.

La diatomita es sinónimo de tierras diatomeas y kieselghur, la cual es una roca porosa silícica, compuesta por esqueletos fosilizados y finos gránulos de sílice amorfa [1]. Este tipo de mineral es de origen biogénico, es decir, son algas unicelulares que viven en colonias, cada alga tiene internamente un esqueleto silícico formado por dos valvas que se unen entre sí, la superficie de las valvas son porosas y su forma varía de acuerdo a las especies, el tamaño de los esqueletos en promedio oscila de entre 10 a 150 μm , y se va formando por la acumulación sedimentaria hasta alcanzar un grosor suficiente para tener un potencial comercial.

Cabe mencionar que para la formación de depósitos de diatomita, son necesarias cinco condiciones ambientales; cuyas características se presentan a continuación ^[3]:

1.-Grandes cuencas de baja profundidad; estas se llevan a cabo de dos maneras:

- Depósito Lacustre.- Lagos de baja profundidad (menos de 35 m) facilitan la fotosíntesis de diatomeas pelágicas como las bentoníticas que se adhieren a las piedras y plantas del fondo de los lagos ^[1,6, 13].
- Depósitos Marinos.- En los depósitos marinos más grandes existen evidencias de aguas de baja profundidad para especies bentonitas.

2.-Sílice soluble en abundancia: estos se deben a la correlación entre depósitos grandes de diatomita y la cercanía de cenizas volcánicas.

3.-Nutrientes en abundancia: esto es debido a la acumulación de cenizas volcánicas en los lagos, y la existencia de una gran cantidad de nutrientes provenientes de la materia orgánica contenida en los mismos, hace que prolifere la diatomea.

4.-El bajo contenido de sales en los lagos, esto limita el desarrollo y crecimiento de las diatomeas.

5.-La existencia mínima de sedimentos plásticos, puede también ser un requerimiento para la proliferación de la diatomita, es necesario el mínimo de material sedimentario para el desarrollo de depósitos apropiados para la comercialización.

Otros sedimentos con mayor contenido de diatomeas se denominan arcillas diatomáceas y la sílice de los fósiles de la diatomea asemeja el ópalo o sílice hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) ^[1].

1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA DIATOMITA

El componente fundamental de la diatomita es la sílice la cual se encuentra en mayor proporción, puede variar desde el 68% al 92% dependiendo de la calidad ^[4], asimismo, existen componentes menores como: hierro, calcio, aluminio, titanio, sodio y potasio. A nivel de trazas se detectan una gran cantidad de otros elementos como: antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, paladio, uranio y vanadio. Acompañando a la diatomita se encuentran otros minerales en los depósitos tales como: arcilla, cuarzo, yeso, mica, calcita y feldespato. Adicionalmente, se incorporan otros elementos biogénicos: restos de esponjas, sílico-flagelados, restos de plantas y huesos de peces ^[14, 21].

En la tabla 1, se observa una comparación de la composición química general de la diatomita natural de las regiones productoras más importantes del mundo ^[4].

Tabla 1. Composición química de diatomita

COMPUESTO	USA		KENIA	DINAMARCA	ESPAÑA	MEXICO	CHINA
	Lompoc CA	Nevada	Soysambu	Meler	Albacete	Jalisco	Jillin
SiO ₂	89.7	89.82	84.5	67.8	88.6	91.2	90.07
Al ₂ O ₃	3.72	2.32	3.06	10.3	0.62	3.2	1.98
Fe ₂ O ₃	1.09	0.84	1.86	6.85	0.2	0.7	0.67
TiO ₂	0.1	0.11	0.17	1.21	0.05	0.16	0.09
P ₂ O ₅	0.1	0.01	0.04	0.21	-	0.05	0.06
CaO	0.3	0.44	1.8	1.35	3.0	0.19	0.39
MgO	0.55	0.47	0.39	1.64	0.81	0.42	0.28
Na ₂ O	0.31	0.67	1.19	0.46	0.5	0.13	0.22
K ₂ O	0.41	0.19	0.91	1.47	0.39	0.24	0.35
PPC	3.7	5.4	6.08	7.91	5.2	3.6	6.3
Total	99.98	100.27	100.0	99.2	99.37	99.89	100.4

I.2 PROPIEDADES FÍSICAS PROMEDIO DE LAS DIATOMITAS

En la tabla 2 se presentan las principales propiedades físicas promedio de la diatomita requeridas para su uso a nivel industrial ^[1, 6].

Tabla 2. Propiedades físicas de diatomita requeridas en la industria.

CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Aspectos macroscópico • Color 	<ul style="list-style-type: none"> • Roca pulvurulenta , fina y porosa, con aspecto margoso • Color por lo regular blanco brillante (en el caso de alta pureza) <ul style="list-style-type: none"> - Pueden estar coloreadas - Blanco (calcinado con fundente) - Rosa (calcinada) - Gris (sin calcinar)
<ul style="list-style-type: none"> • Porosidad • Capacidad para absorber líquidos • Capacidad abrasiva • Conductividad térmica • Resistencia a la temperatura • Punto de fusión • Peso específico • Superficie específica 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta porosidad • Muy alta • Suave • Muy baja • Alta resistencia • Entre 1400 a 1750 °C • 2.0 g/cm³ (la calcinación la incrementa a 2.3 g/cm³) • 10 a 30 m²/g (la calcinación la reduce a 0.5 a 5 m²/g)
<ul style="list-style-type: none"> • Índice de refracción • Dureza (Mohs) • Química • Humedad 	<ul style="list-style-type: none"> • 1.4 a 1.46 (la calcinación la incrementa a 1.49) • 4.5 a 5 (la calcinación la incrementa a 5.5- 6) • Químicamente inerte • El porcentaje de humedad varía de acuerdo al depósito (entre 10% hasta un 60%)

I.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL MINERAL

En la figura 1 se observa el diagrama de flujo del procesamiento dado a la diatomita para su comercialización ^[5].

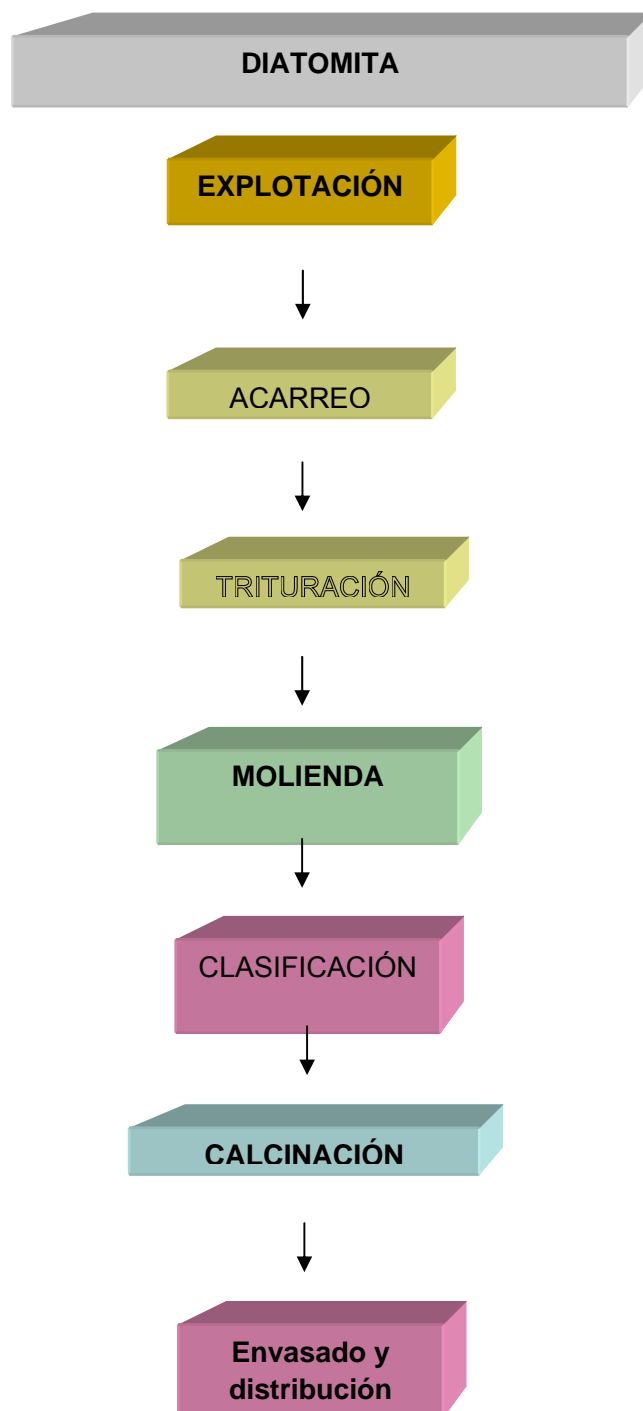


Figura 1. Diagrama de proceso de diatomita

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Minado

Generalmente es explotada a cielo abierto, en esta etapa se remueve el material de descapote, es decir, se elimina y se limpia el material que se encuentra sobre el yacimiento, posteriormente se realiza la extracción del mineral. La diatomita en bruto es transportada al molino o a los almacenes en pilas, comúnmente contiene 40% de humedad, en muchos casos 60% ^[5].

Trituración primaria

Se aplica a la diatomita natural normalmente para disminuir el tamaño por medio de molinos de martillo.

Molienda / Secado

La molienda se realiza con el objetivo de reducir el tamaño de las partículas, en esta etapa del proceso la molienda y el secado se realizan simultáneamente; las partículas suspendidas de diatomita son acarreadas en una corriente de gases calientes. Los secadores operan en un rango de temperaturas de 70 – 430 °C para obtener el material con aproximadamente 15% de humedad.

Clasificación

Las partículas suspendidas que salen del secador pasan a través de una serie de ventiladores, ciclones y separadores hasta llegar a una bolsa. Estas operaciones secuenciales separan el polvo en varios tamaños, remueven impurezas y eliminan el agua contenida en el material.

Calcinación (con fundente)

El ajuste adicional del tamaño de partícula es por la adición de un fundente entre 2 y 8%, usualmente, se utiliza sosa cáustica, cloruro de sodio o hidróxido de sodio, antes de la calcinación. El fundente agregado sinteriza las partículas de diatomita e incrementa tamaño. Los productos resultantes son llamados “Calcinados con Fundente”. La calcinación con fundente produce un producto blanco, coloreado

por la conversión de hierro a un complejo de silicatos de sodio-aluminio-hierro antes de su conversión a óxido. La temperatura para la calcinación alcanza hasta 1200° C.

Calcinación (sin fundente)

El polvo de diatomita natural es calcinada en grandes hornos rotarios. Las temperaturas típicas de operación del horno oscilan entre 650° C y 1200° C. Este proceso proporciona partículas con poros grandes y pequeñas áreas superficiales, es decir el material sufre una sinterización. Altos contenidos de Fe en el material inicial hace que el producto de la calcinación tenga una coloración rosada debido a la oxidación del hierro y parte de la sílice amorfa se convierte en cristobalita.

I.5 USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA DIATOMITA

En la tabla 2 se muestran los principales usos de diatomita, este se da en base a determinada propiedad física, ya que ésta nos marca la aplicación para una rama industrial definida, resaltando la alta porosidad, ya que es la propiedad por lo que el material es más consumido por la necesidad de los filtros en la industria cervecera ^[4].

Tabla 3. Usos industriales de la diatomita.

PROPIEDADES FÍSICAS	USO	RAMA INDUSTRIAL
<ul style="list-style-type: none"> Alta porosidad 	<ul style="list-style-type: none"> Filtro-ayuda 	<ul style="list-style-type: none"> Elaboración de productos químicos Industria de la sacarosa Industria de licores, vinos y cervezas Industria farmacéutica Industria de purificación de aguas
<ul style="list-style-type: none"> Alta área superficial 	<ul style="list-style-type: none"> Cargador y aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> Industria de pinturas Industria del plástico Industria del caucho Industria del papel Industria de fertilizantes e insecticidas
<ul style="list-style-type: none"> Permeabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Materiales aislantes 	<ul style="list-style-type: none"> Producción de aislantes térmicos
<ul style="list-style-type: none"> Alta capacidad de absorción 	<ul style="list-style-type: none"> Elementos absorbentes 	<ul style="list-style-type: none"> Manejo y almacenamiento de productos químicos peligrosos como ácido fosfórico, sulfúrico y otros Absorbente de nitroglicerina
<ul style="list-style-type: none"> Baja conductividad 	<ul style="list-style-type: none"> Fuente de sílice 	<ul style="list-style-type: none"> Industria de fibra de vidrio
<ul style="list-style-type: none"> Baja abrasividad 	<ul style="list-style-type: none"> Abrasivos 	<ul style="list-style-type: none"> Materiales destinados al pulido de automóviles y metales preciosos pastas dentífricas
<ul style="list-style-type: none"> Intercambio iónico 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis cromatográfico 	<ul style="list-style-type: none"> Industria cromatografica

Como se muestra en la tabla 3 uno de sus usos industriales es el intercambio iónico para la eliminación o disminución de metales pesados; estos son sustancias altamente tóxicas, entre ellos se encuentra el arsénico presente en las aguas debido a fuentes antropogénicas y naturales, son causantes de graves daños en los seres vivos y capaces de permanecer largo tiempo en el entorno, de forma que se incorporan a las cadenas alimenticias. Por lo tanto, es necesario que se reduzcan la concentración en el contenido de metales tóxicos en los medios acuáticos, y sobretodo, hasta unos niveles que no generen problemas de toxicidad. Debido a todas estas razones, las investigaciones se centran en mejorar y desarrollar nuevas tecnologías de tratamiento para la disminución y eliminación de elementos contaminantes en aguas subterráneas y aguas superficiales ^[7,16, 19], por lo cual en el presente trabajo la diatomita será utilizada como un intercambiador iónico para la disminuir la concentración de arsénico contenida en agua potable.

I.6 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ARSÉNICO

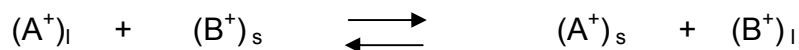
El arsénico es un metaloide ampliamente distribuido en la corteza terrestre, se encuentra dentro de la tabla periódica en el grupo 15, con el nitrógeno, fósforo, antimonio y bismuto, tiene número atómico 33 y una masa atómica de 74.91 g mol^{-1} [8,17,18].

Este elemento presenta usualmente cuatro estados de oxidación $3-$, 0 , $3+$ y $5+$; en ambientes fuertemente reductores se puede encontrar como As^0 o arsénico ($3-$) en condiciones reductoras moderadas el arsenito ($3+$) puede ser la forma dominante y en ambientes oxidantes el arsénico ($5+$) es generalmente el estado de oxidación más estable.

El arsénico y sus compuestos pueden tener forma cristalina, polvo amorfo o presentar forma vítrea (usualmente aparece a nivel traza en rocas, suelos, agua y aire. Sin embargo, las concentraciones pueden ser altas en ciertas áreas como resultado de la intemperización y de actividades antropogénicas, incluida la minería y la fundición de metales, así como la combustión de materiales fósiles y el uso de pesticidas.

I.7 INTERCAMBIO IÓNICO

Los intercambiadores iónicos son sustancias granuladas insolubles las cuales tienen en su estructura molecular radicales ácidos o básicos, que pueden intercambiar iones positivos o negativos contenidos de una solución. La mayoría de los materiales presentan una carga negativa inherente sobre su superficie por lo que la interacción aparece fundamentalmente con cationes en solución. Normalmente se trata de un proceso rápido y reversible, y depende en gran medida de la fuerza iónica del agua. A fuerza iónica alta existe una gran competencia entre los cationes solubles en solución por los sitios de intercambio sobre la superficie del sólido. El equilibrio general de este proceso es [9,12].



Donde:

I = intercambiador A^+ y B^+ = iones intercambiables

S = solución

I.8 ESTADOS PRODUCTORES DE DIATOMITA EN MÉXICO

Los yacimientos de diatomita de mayor importancia comercial se localizan en la región minera El Barqueño, estado de Jalisco y pertenecen al corporativo Celite; los estados de México y Michoacán registran importantes depósitos de mineral. A nivel nacional se enlistan las siguientes: San Pedro, Coahuila; Balleza, Chihuahua; en el Estado de México se localiza en los municipios de San Felipe del Progreso Valle de Bravo, Atlacomulco, Ixtlahuaca; en Michoacán existen los depósitos de el Charro y Tuxpan (El Porvenir); en Tlaxcala Zona de Totolac, Zona de Tlahuapan y Panotla; en Puebla en la zona de Liebres y en Tamaulipas en San Nicolás ^[5].

A continuación se presenta el mapa de distribución de los principales estados productores de diatomita en México ^[5].

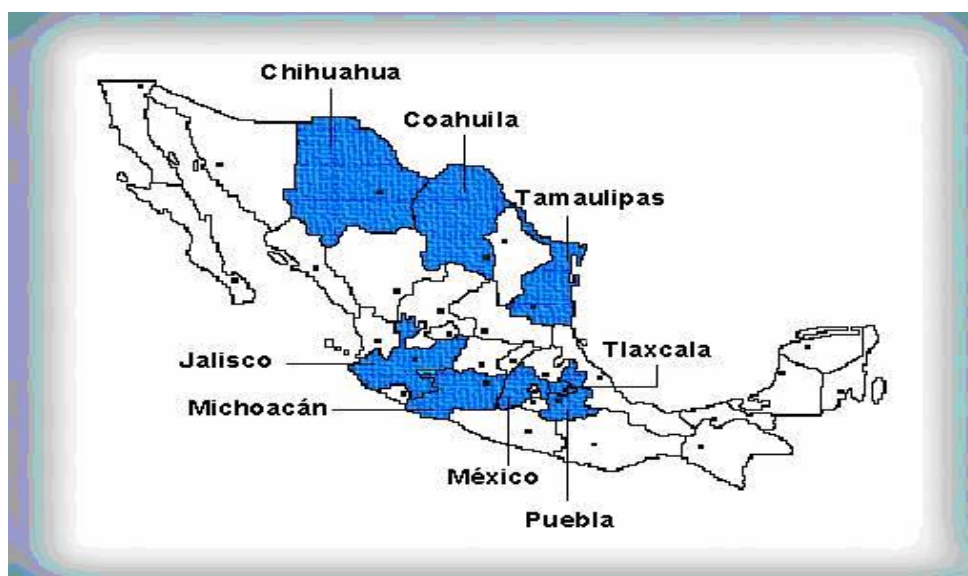


Figura 2. Mapa de los principales estados productores de diatomita en México.

I.9 PRODUCCIÓN DE DIATOMITA EN MÉXICO

En la figura 3 se muestra la producción de diatomita a nivel nacional durante el periodo comprendido de 1993 al 2002, donde se puede apreciar un marcado incremento en la producción y por ende en el consumo de la misma ^[10].



Figura 3. Gráfica comparativa de la producción de diatomita en México (1993-2002).

La producción nacional de diatomita durante el 2002 fue de 77.0 mil toneladas, 11.0% superior con relación a 2001. En los últimos 10 años (1993-2002) la diatomita ha registrado una tasa del 3.14% de crecimiento promedio anual. El 99.9% de la producción nacional se genera en el estado de Jalisco, en el municipio de Zacoalco de Torres, donde está establecida la empresa líder del mercado.

El mercado nacional de diatomita está en manos de la empresa líder, tanto en su presentación de filtro ayuda como el de carga funcional. Son los únicos en el país que ofrecen diatomita calcinada y brindan también asesoría técnica a sus clientes ^[10].

CAPÍTULO II

DESARROLLO EXPERIMENTAL

La metodología de trabajo para la realización de esta investigación, se desarrollo bajo la siguiente secuencia.

1. Localización y acceso al área de estudio
2. Muestreo
3. Preparación de muestra obtenida de mina
4. Análisis por difracción de rayos X
5. Microscopio electrónica de barrido (MEB-EDS)
6. Espectrofotómetro de absorción atómica
7. Pruebas para la utilización como adsorbente natural en la disminución de concentración de arsénico mediante intercambio iónico

II.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO

El depósito de diatomita se localiza a 52 Km. con respecto a la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo y a 23.0 Km de Tulancingo de Bravo, Hidalgo en línea recta y con un rumbo de N 15° W.

El ejido loma larga se localiza en el punto que interceptan las coordenadas siguientes:

Latitud Norte 20° 16` 45”

Longitud Oeste 98° 26' 00”

Elevación 2140 msnm.

Su acceso es por la carretera federal No. 105, desviándose en el entronque que comunica al municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo, de ahí se continua hacia el municipio de Acatlán, pasando por la comunidad del Huizache, y

aproximadamente a 2 Km desviándose a un camino pavimentado en el cruce de la derecha que conduce al poblado de Alcholoaya, de aquí y por camino de terracería y por espacio de 9 Km. Se localiza la ranchería de Loma larga lugar donde se encuentra el yacimiento.

Por otra parte el acceso desde la ciudad de Tulancingo de Bravo, Hgo., es hacia Huasca de Ocampo por espacio de 18.0 Km. hasta el cruce de la derecha que conduce al poblado de Alcholoaya, pasando por los poblados de Jaltepec y Acatlán; en este cruce y a 3.0 Km. de aquí y por camino de terracería y por espacio de 9 Km. se localiza la ranchería de Loma larga lugar donde se encuentra el yacimiento. Como se aprecia en la figura 4.

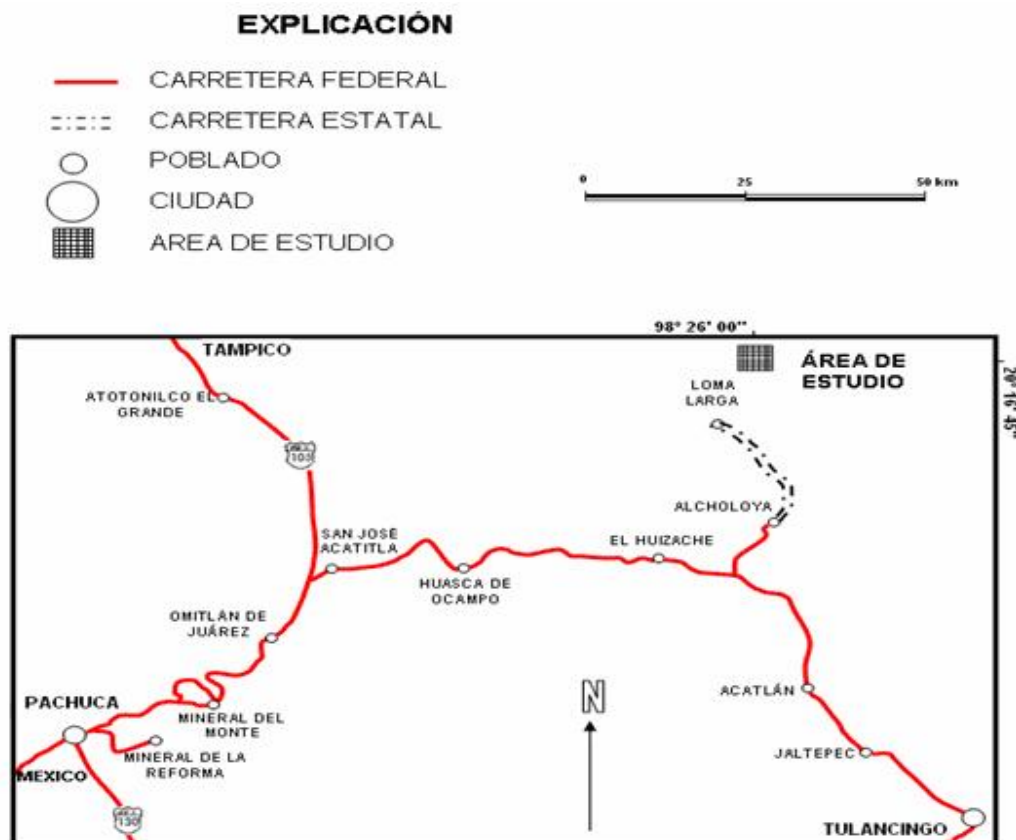


Figura 4. Mapa de localización del yacimiento de Loma Larga, municipio de Acatlán, Hidalgo.

II.2 MUESTREO

El muestreo se realizó de forma selectiva en la zona de explotación actual obteniendo 3 muestras del depósito con un peso por muestra de 1.5 Kg aproximadamente, como se muestra en la figura 5.

Posteriormente para el estudio de las mismas se realizó un composito de todas las muestras para obtener una muestra representativa general del depósito.



Figura 5. Fotografía donde se observa la toma de muestras del depósito de diatomita ubicado en Loma Larga municipio de Acatlán, Hidalgo.

II.3 PREPARACIÓN DE MUESTRA OBTENIDA DE MINA

Las muestras obtenidas en mina fueron mezcladas y cuarteadas para obtener una muestra representativa de las mismas, posteriormente fueron molidas mediante un metate ya que por su baja dureza se disgrega fácilmente y no es necesario utilizar equipo especializado, posteriormente fueron tamizadas en un juego de mallas hasta lograr tener un tamaño de partícula a -325 mallas.

Las muestras obtenidas fueron utilizadas para las pruebas de absorción atómica, difracción de rayos X, microscopia electrónica de barrido, calcinación y para cromatografía de líquidos.

II.4 ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Una porción de muestra preparada a -325 mallas (44 μm) se preparó para ser analizada por Difracción de rayos X y poder determinar las fases mineralógicas mayoritarias y minoritarias presentes en la diatomita.

El equipo utilizado para la difracción de rayos X fue un difractómetro Marca Phillips, modelo X'PERT (figura 6), el cual operó bajo las siguientes condiciones de trabajo:

Radiación	Cu ($K_{\alpha 1}$)
Longitud de onda	1.54056 Å
Monocromador	Grafito
Voltaje	40 KV
Intensidad	30 mA
Velocidad de barrido	0.02 θ /min.

Los difractogramas obtenidos fueron evaluados con la ayuda de un paquete de programas difract – at, el cual cuenta con un banco de datos con fichas de la Joint Comitee of Powder Diffraction Standards (JCPDS).



Figura 6. Difractómetro de rayos X Marca PHILIPS, Modelo X'PERT

II.5 ANÁLISIS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Este estudio fue llevado a cabo con muestras de polvo depositadas sobre una cinta adhesiva de grafito que posteriormente fueron recubiertas con una capa delgada de oro para mejorar la conductividad y tener mejores imágenes de las mismas. Otra parte de la misma muestra fue montada de la misma forma, sólo que esta se recubrió con una capa delgada de grafito para evitar interferencia de las líneas características del oro durante el microanálisis semicuantitativo efectuado por EDS. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo 6300 con un alcance de 300,000 magnificaciones, tamaño del área de incidencia del haz de electrones (spot size) de 10^{-2} a 10^{-5} amp., resolución de 25 Kv, equipado con un detector de energía retrodispersiva de rayos X (EDS), para realizar microanálisis semicuantitativo elemental en las muestras de análisis (figura 6).

Las actividades realizadas para este estudio fueron: una vez preparada la muestra se procedió a observarlas en el SEM a diferentes magnificaciones con el propósito de medir el tamaño de partícula del mineral y el tamaño de poro; la medición se realizó directamente en el microscopio como se puede apreciar en la

fotomicrografías del capítulo siguiente y auxiliándonos con las herramientas de medición del propio equipo.

Se pudo observar las estructuras fósiles contenidas dentro de las diatomitas, las cuales son particularmente importantes para clasificarlas y determinar el origen de la formación geológica del depósito.

Posteriormente se trataron muestras calcinadas de la misma forma que las anteriores, para observar si las partículas sufrieron alteraciones de tamaño y forma después de elevar la temperatura a 1100° C. El análisis de los resultados se muestra en el capítulo III.



Figura 7. Microscopio Electrónico de Barrido, Marca Jeol 6300

II.6 ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

El análisis de los elementos (en estado oxidado) contenidos en el material se realizó con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Marca Perkin Elmer, modelo 2100, bajo las condiciones que marca el manual del propio equipo proporcionado por la compañía.

Se pesó 100 mg de muestra, se colocó en un crisol de platino, se adicionó 20 ml de una mezcla de ácidos HF y HNO₃ concentrados (1:1); se calentó durante 20 minutos en una parrilla de calentamiento a reflujo para disolver la muestra, una vez terminada la digestión, se dejó enfriar la solución, se neutralizó con una solución saturada de ácido bórico (H₃BO₃) y se aforó en un matraz volumétrico de plástico de 100 ml. Se utilizó flama de óxido nitroso – acetileno ó aire –acetileno según las condiciones requeridas para el elemento a analizar, los flujo de gas fueron de 4.5 l/min para el óxido nitroso o aire y 7.5 l/min para el acetileno, se utilizaron patrones comerciales certificados, se calibró el equipo con los estándares y se procedió a leer las muestras.

Las concentraciones obtenidas de los elementos se convirtieron a los porcentajes de los óxidos respectivos.

II.7 MUESTRA DE AGUA UTILIZADA

La muestra de agua utilizada fue colectada en el distribuidor general de agua de la población de Zimapán, Hidalgo que procedía del pozo V del mismo municipio; ya que en dicho pozo se presentan los índices más altos de arsénico en agua potable de esta región, detectado con anterioridad el punto de descarga del agua deseada en la entrada del distribuidor general de agua potable de Zimapán.

II.8 TRATAMIENTO DE DIATOMITA COMO ADSORBENTE

Muestras de diatomita de 100 g cada una, fueron utilizadas bajo tres condiciones, una natural y dos calcinadas; la primera fue diatomita natural (25° C), la segunda diatomita calcinada natural a una temperatura de 1100° C y la tercera calcinada con fundente (cloruro de sodio) a 1100° C; las muestras que se trataron térmicamente, se calentaron en un horno de calcinación tipo rotatorio, marca CARBOLITE, la temperatura máxima de operación fue de 1200° C bajo las siguientes condiciones: velocidad de calentamiento de 10 °C/min. y una vez alcanzada la

temperatura deseada, se mantuvo en ésta, por un tiempo de 2 hrs. y posteriormente se dejaron enfriar en el horno a una velocidad de 15° C/min.

II.9 CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DEL CONTENIDO DE ARSÉNICO EN AGUA POTABLE POR INTECAMBIO IÓNICO

Se colocaron 25 mL de diatomita (natural, calcinada y calcinada con fundente, respectivamente en cada experimento) en una bureta de 25 mL acondicionada como columna cromatográfica; a las columnas se les hizo pasar inmediatamente agua del pozo V a un flujo de 2-3 mL·min⁻¹ en condiciones normales de presión y temperatura.

Se colectaron fracciones de 50 mL (2 V agua ·V⁻¹ diatomita) desechando la fracción impar y analizando la par en forma consecutiva. Es decir cada fracción analizada equivale a haber pasado 100 mL de agua por columna ^[11].

II.10 ANÁLISIS DE ARSÉNICO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON GENERACIÓN DE HIDRUROS

Para el análisis del arsénico, se tomaron alícuotas de agua tratada y se pretrataron con solución de KI y ácido ascórbico al 5% de cada uno, así como HCl concentrado para asegurar el cambio de estado de oxidación de As (5+) a As (3+), dejando reposar 20 min. Antes de realizar el análisis por la técnica de generación de hidruros combinada con la espectrofotometría de adsorción atómica; el análisis se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica; marca Varian, modelo Spectr AA 880, con lámpara de cátodo hueco del mismo elemento, a una intensidad de corriente de 10 mA y longitud de onda de 193.7 nm, con flama de aire - acetileno optimizada y utilizando N₂ de alta pureza como gas de arrastre ^[22].

En la generación de hidruros se utilizó boro-hidruro de sodio (NaBH₄) al 0.5 % estabilizando con NaOH al 0.5 % como agente reductor, y HCl 6M, los cuales fueron introducidos en línea junto con la muestra pre-reducida al generador de hidruros de

flujo continuo, el flujo utilizado en la introducción de muestra al equipo fue de 0.8 mL min⁻¹ y para las soluciones de borohidruro y ácido clorhídrico de 1.0 mL · min⁻¹ respectivamente.

II.11 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS O IONES EN LA MUESTRA

La concentración de arsénico, así como del resto de los elementos o iones en la muestra analizada por técnicas espectrofotométricas, se determinan utilizando la siguiente expresión:

$$C_r = (C_i * V_{af} * F_d) / V_m$$

Donde:

C_r =concentración real de As (elemento) en fracción analizada en $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

C_i =concentración leída por el equipo previamente calibrado en $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

V_{af} =volumen en el que se aforo inicialmente la muestra, mL.

F_d =factor de dilución que se realizo a la fracción para analizar la muestra en el equipo (este valor es adimensional).

V_m =volumen de muestras que se tomo para análisis, en mL

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

III.1 RESULTADOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

En la tabla 4 se presentan las especies mineralógicas que componen las diatomitas estudiadas y son: sílice como fase mayoritaria, bernilita, ortoclasa, andesina, feldespato y albita.

Tabla 4. Especies mineralógicas presentes en las diatomitas estudiadas.

ESPECIES MINERALES IDENTIFICADAS	PDF NO.	FORMULA
Cuarzo	46-1045	SiO ₂
Berlinita	76-0228	AlPO ₄
Ortoclasa	75-1190	K (AlSi ₃)O ₈
Andesita	83-1938	Na.499Ca.491(Al1.48Si _{2.50} O ₈)
Feldespato Potásico	10-0357	(NaK)(Si ₃ Al)O ₈
Albita	83-1611	Na(AlSn ₃ O ₈)

En la figura 8, se muestran las principales líneas de difracción de rayos X de la diatomita en donde indica la presencia de las fases cristalinas, mencionadas en la tabla 4 teniendo como fases mayoritarias al cuarzo y la albita. De acuerdo a estos resultados las fases presentes en este material son coincidentes con aquellos que constituyen a la mayoría de diatomitas encontrada en depósitos en todo el mundo ^[4].

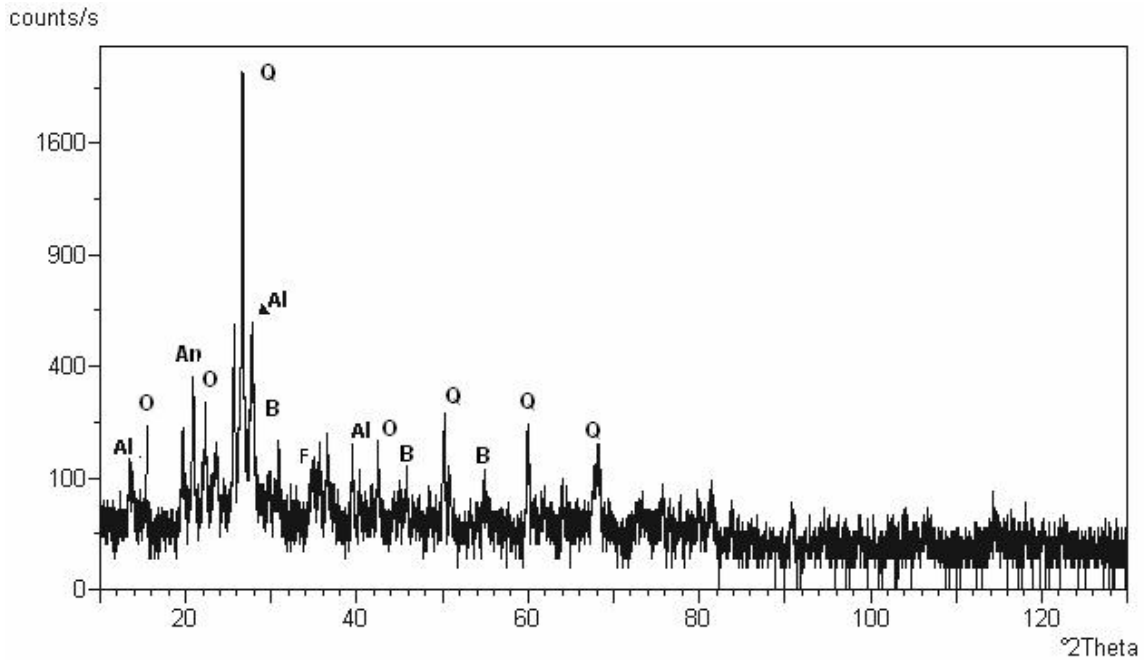


Figura 8.- Difractograma de rayos X de diatomita realizado bajo las siguientes condiciones: fuente de radiación Cu, $K_{\alpha} \lambda = 1.54056 \text{ \AA}$, tensión en el generador de 40 Kv, corriente de 30 mA y barridos de ángulos de (2θ) desde 0° a 130° ; fases cristalinas principales determinadas: (Q) cuarzo y (Al) albita.

III.2 CARACTERIZACIÓN VÍA MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y con el apoyo de la espectrometría de rayos X por dispersión de energías (EDS) se encontró un análisis semicuantitativo del material y se observó que los elementos mayoritarios son el silicio, aluminio, calcio, potasio, sodio, entre otros (figura 9), que corresponden a las fases observadas en Difracción de Rayos X.

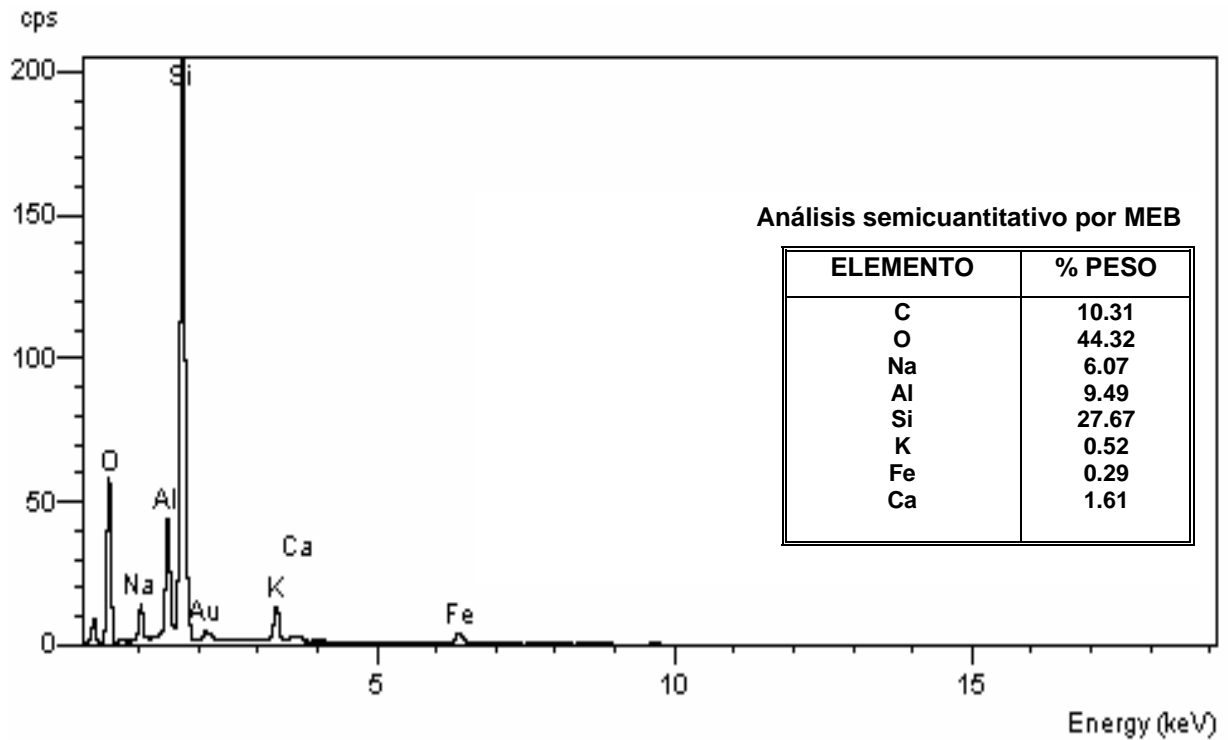


Figura 9.- Espectro difracción de electrones dispersivos del material en forma natural, obtenido en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol, modelo 6300, con voltaje de aceleración de 20 KeV y detector de energía dispersiva de silicio- litio.

Por otra parte, también se observó el tamaño de partícula y el tamaño promedio del poro de la diatomita natural, el cual fue de 1.5 μm , como se puede apreciar en la figura 10.

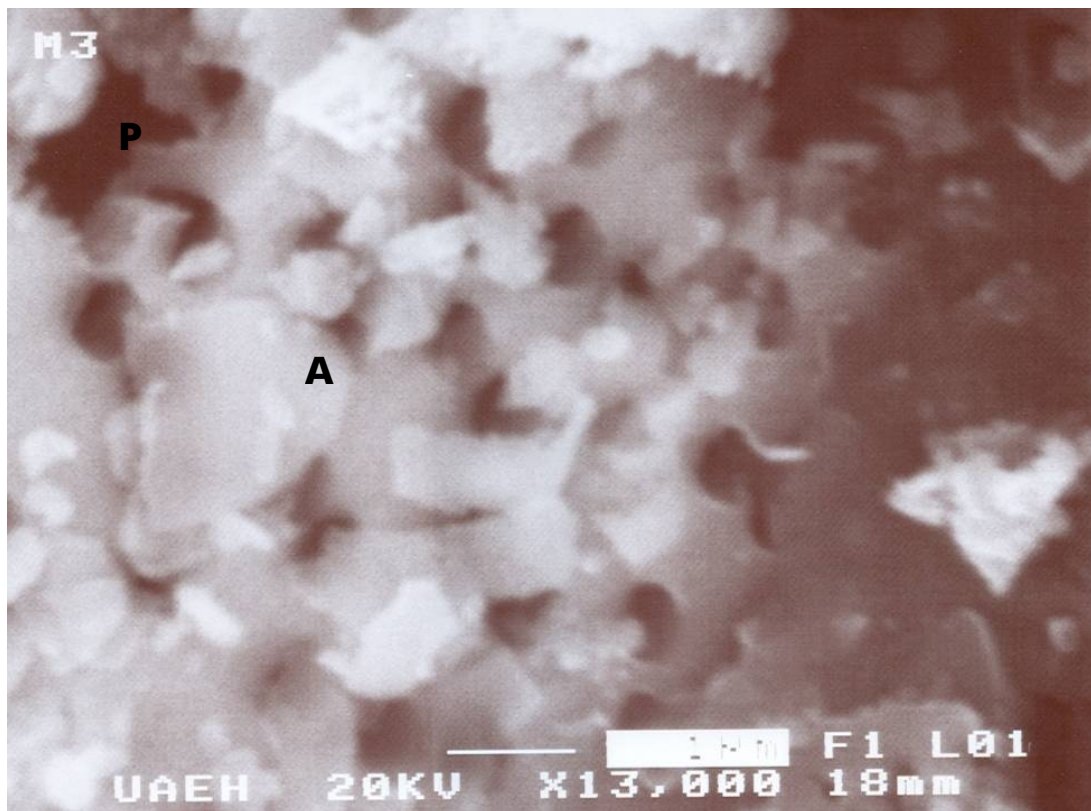


Figura10.- Fotomicrografía donde se observa la porosidad de la diatomita natural, obtenida en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol. Condiciones de operación: detector EDS, 20 Kv de potencia del MEB, magnificación de 13,000 X. se observa el tamaño de los poros (P), la materia amorfa (A) y la estructura de la diatomita.

III.3 ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

En la tabla 5 se muestran los resultados del análisis químico del material en porcentaje; los principales elementos que están presentes en el mineral en forma de óxidos, de la diatomita natural y tratada; se observa un notable aumento en el contenido de sílice en el material tratado, esto debido principalmente a la eliminación de materia orgánica contenida en las mismas.

Tabla 5. Composición química de diatomita natural, calcinada y calcinada con fundente (cloruro de sodio).

Proceso Térmico	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	K ₂ O %	Na ₂ O %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	TiO ₂ %	XE %
Natural	76.0	11.63	2.41	0.61	0.85	1.95	1.79	0.50	4.26
Calcinada	81.50	12.00	2.10	0.45	0.10	1.44	0.48	0	1.93
Calcinada con fundente	82.00	11.15	1.96	2.82	0.13	1.44	0.48	0	0.02

XE = elementos no determinados

La composición química de la diatomita natural fue modificada después de la calcinación, obteniéndose una diatomita de buena calidad para su uso industrial, debido a que se incrementó el porcentaje de sílice, se redujo el contenido de Fe₂O₃ y humedad, se transformaron los carbonatos, se eliminó la materia orgánica y el Al₂O₃ permaneció sin un cambio aparente; por consiguiente las propiedades físicas y químicas de la diatomita fueron mejoradas para uso industrial según la norma ASTM D 604-81 (tabla 5).

Por otra parte, comparando la composición de este material con las diatomitas de diferentes partes del mundo, se puede concluir que esta diatomita es de buena calidad y puede competir con las internacionales, ya que se acerca a los estándares establecidos para las diatomitas comerciales las cuales varía el contenido de SiO₂ del 83 al 92% (tabla 1)^[4].

III.4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DIATOMITA CALCINADA

Para el caso de la diatomita calcinada natural, el tamaño de poro se incremento hasta un tamaño promedio de 3 μm, la calcinación en el horno rotatorio produjo la eliminación de agua, materia orgánica y carbonatos produciendo una coloración rosada.

Por otra parte, la diatomita calcinada con fundente, su tamaño promedio fue de 7 μm , tal como se puede apreciar en la figura 11, debido a la conversión de hierro en silicatos de sodio-aluminio-hierro^[1], lo cual nos muestra una coloración blanca aumentando la tasa de flujo en la filtración y el índice de refracción, disminuyendo el área superficial, la cual es reducida por la fusión de la estructura más delicada de la partículas y la sinteriza en pequeños grupos, incrementado el tamaño promedio de la partícula, contenido de la sílice y el tamaño de poro de 1.5 a 7 μm . Por lo anterior, se puede concluir que se tuvo un incremento satisfactorio de 5.5 μm en el tamaño de poro por el tratamiento térmico con la adición del fundente.

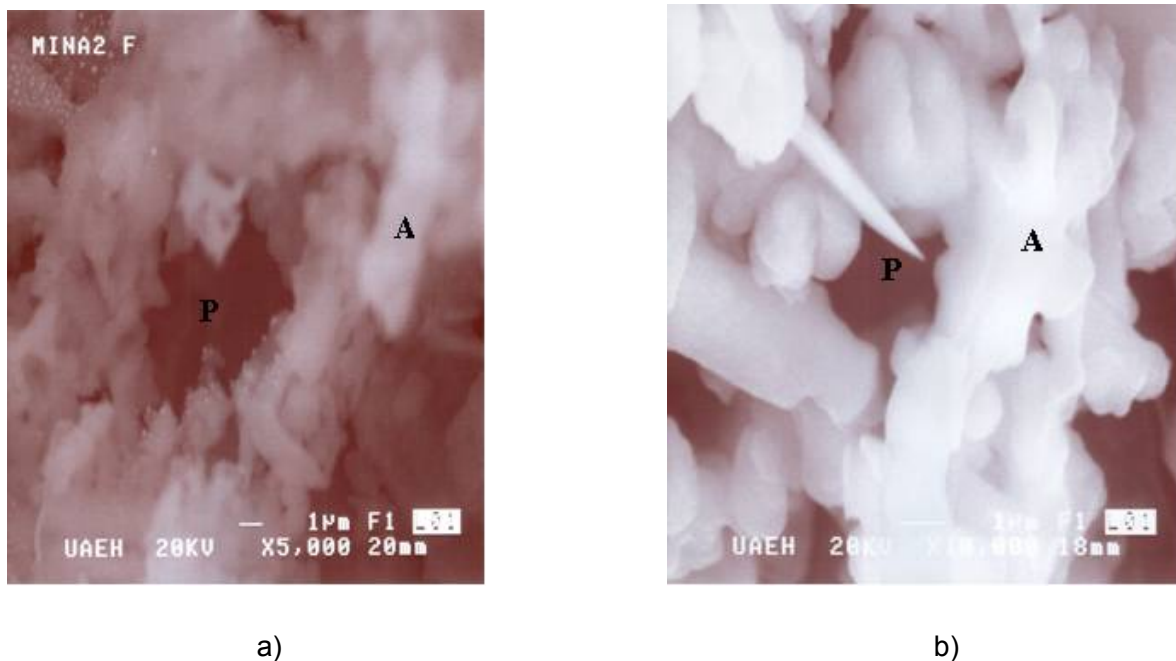


Figura 11. Fotomicrografías donde se muestra la porosidad de la diatomita obtenida en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol, con detector EDS condiciones de trabajo: 20 Kv ; 5,000 aumentos a) calcinada con fundente y b) calcinada sin fundente; se observan los poros (P) y materia amorfa (A) en la diatomita tratada.

III.5 USOS PROPUESTOS DE DIATOMITA EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

En la tabla 6 se presentan los usos industriales de la diatomita estudiada tomando como referencia las propiedades promedio obtenidas; se puede apreciar la variación de la coloración de diatomita que va desde su estado natural de color gris claro, hasta un color rosado debido al proceso de calcinación y/o color blanco cuando se calcina con algún fundente.

Asimismo la densidad del material se ve incrementada en un porcentaje mínimo de la natural a la calcinada tanto en condición seca como húmeda. Por lo que respecta al pH del material se observa que tanto material natural como calcinado no presentan ninguna variación, sin embargo la diatomita que fue calcinada con fundente varió de 7 a 10 y esto es debido a la reacción del fundente con el mineral.

Por lo que respecta al tamaño de poro, podemos apreciar que se tuvo un incremento significativo del mismo, ya que en su estado natural presento un tamaño promedio de poro de 1.5 μm ; para la diatomita calcinada de 3 μm y para la diatomita calcinada con fundente fue de 7 μm , por lo cual se puede concluir que el objetivo perseguido con la calcinación que era de incrementar el tamaño de poro fue satisfactorio.

Por lo anterior, en base a estos resultados y a los usos ya conocidos de la diatomita en base a sus propiedades, se procedió a asignar los usos adecuados para el presente material, con el objetivo de poder diversificarlos y con esto darle un mayor valor agregado al mismo.

Por lo anterior, los productores de diatomita de loma larga pueden darle un valor agregado al material que extraen y no venderlo en greña, ya que las características determinadas los colocan como un material de buena calidad para ser utilizadas dentro de los usos considerados en la tabla 6.

Tabla 6. Usos industriales propuestos para la diatomita estudiada [1, 3, 5,15].

TIPO DE DIATOMITA	COLOR	DENSIDAD		PH	TAMAÑO PROMEDIO DEL PORO(μ)	USOS INDUSTRIALES PROPUESTOS
		Seca	húmeda			
Natural	gris	7.0	16	7	1.5	- Filtros de aceites vegetales - Filtros para aceites comestibles
Calcinada	rosa	8	18	7	3	-Filtro para cerveza y vino
Calcinada con fundente	blanco	9	18	10	7	-Solventes de lavado en seco -Químico -Azúcar

III.6 RESULTADOS DEL INTERCAMBIO IONICO DE LA DIATOMITA

Los resultados obtenidos de la utilización de diatomita como adsorbente e intercambiador se puede observar en la figura 12, donde las diatomitas natural, calcina y calcinada con fundente presentaron resultados prácticamente nulos, esto, debido a que al As que se encuentra en el agua esta como H_2AsO_4^- y HAsO_4^{2-} y no como catión (As^{3+}) y debido a que el SiO_2 no contenga dentro de su estructura iones que puedan hacer el intercambio. Los resultados obtenidos pueden ser considerados para posteriores investigaciones en esta área del conocimiento y la diatomita que se utilice, se recomienda que se dope con otros tipos de compuestos para optimizar el proceso.

Tratamiento de agua potable con diatomitas

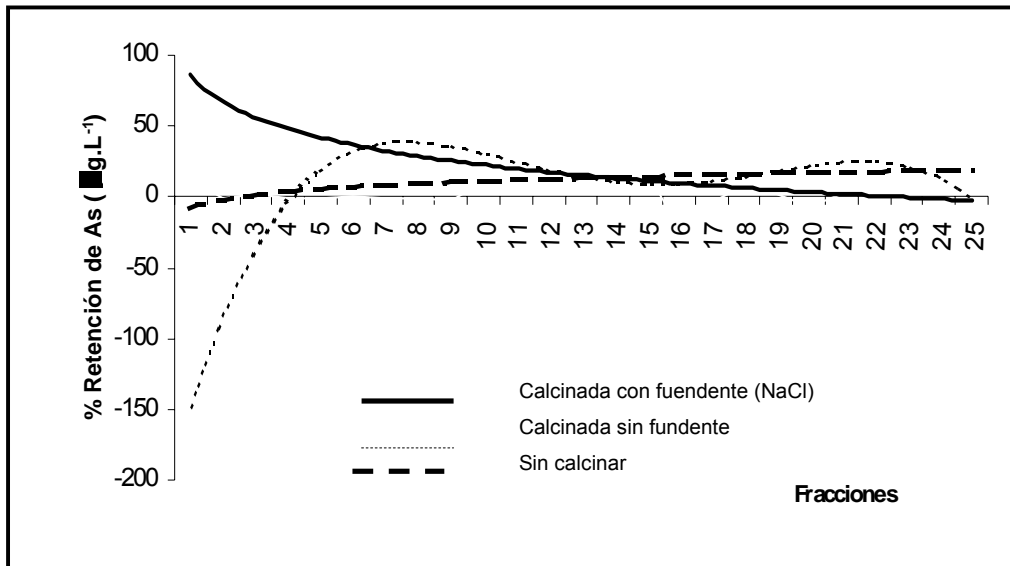


Figura 12. Tratamiento de disminución de arsénico de agua potable del pozo V de Zimapán ($527 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) con %DER de 2.0 utilizando diatomita: calcinada con fundente (NaCl), **—** calcinada sin fundente **.....** y sin calcinar **- - -** en reposo con NaOH durante 20 min.

CONCLUSIONES

1. Mediante la caracterización de la diatomita se encontró como fase mayoritaria el cuarzo (SiO_2), el cual se encuentra en porcentajes del 76.0 % cuando esta al natural, 81.50 % cuando se calcinada y 82.00 % cuando se calcinada con fundente, considerándose estos porcentajes de buena calidad, aceptables para su uso industrial en procesos alternos, ya que cumple con la norma (ASTM D604-81).
2. Mediante la microscopía electrónica de barrido se determinó que la partícula es de forma irregular y porosa; concluyendo que con aplicarle la calcinación se pudo incrementar satisfactoriamente algunas de las principales propiedades físicas como son: tamaño de poro y partícula, entre otros.
3. Esta diatomita no funciona como adsorbente para la disminución de arsénico en agua potable, ya que posee un intercambio iónico muy débil o nulo, debido a que su saturación es demasiado rápida, por consiguiente se tienen bajos porcentajes de retención de arsénico.
4. En base a estos resultados, a los usos conocidos de la diatomita y a sus propiedades, se determinó que los usos alternos más apropiados del material son: para el caso de la diatomita natural: fabricación de filtros para aceites vegetales comestibles; para la diatomita calcinada: fabricación filtros para tratamiento de cerveza y vino y para la diatomita calcinada con fundente: para tratamiento de solventes utilizados en procesos de lavado en seco, en procesos químicos, producción de azúcar.
5. Los productores de la diatomita de Loma Larga pueden darle un valor agregado al material y no venderlo en lo sucesivo en greña, si es que le dan un tratamiento adicional para mejorar sus características.

BIBLIOGRAFIA

1. KADEY L. Frederic, (1975), "Diatome", 4° ed., Nueva York, Ed. Industrial Minerals & Rocks, Pp. 145-152.
2. COREMI, (2002), "*Cartas geológico- mineras y geoquímicas, Tasquillo escala 1:50000 y la carta Meztitlán escala 1:50000*"
3. Consejo de Recursos No Renovables, (1963), "*Diatomita de Tlaxcala*" (Comunicación Personal)
4. HARBEN W. Peter, (2002) "*The industrial Minerals Handbook*" Ed. Production Maria Holmes, Pp.117,118,121.122,127.
5. S. E. (Secretaria de Economía), (1999), "*Perfil de la diatomita*", Pp. 2-10.
6. DIGMAN, Robert & LOHMAN, Kenneth, (1963), "*Late pleistocene diatoms from the arica area*", Chile, CIT, Art. No. 78, Pp.69-72.
7. ONRIAGU, J. A., (1996) "*History of Global Metal Pollution*", Science, Vol. 272(5259), Pp. 222-225.
8. VAGLIASINDI and MARCH M., Benjamin, (1998), "*Arsenic removal in fresh and Nomploaded ion exchange packed bed adsorption reaptors*", Wat.Sci. Technol, Pp. 337-343.
9. D. J., Pietrzyk y C. W., Frank, (1983), "*Química analítica*", 2ª ed., Ed. Interamericana, Pp. 534.
10. SIEM (Sistema de Información Comercial de México), (2002), "*Mercado Internacional de la diatomita*", Bancomer, Pp. 101-115.

11. PÉREZ MORENO, Fidel, (2004), "*Dinámica de arsénico en aguas subterráneas de distribuidor general de agua potable de Zimapán*", Tesis Doctoral.
12. P. Zuhze, (1966), "*Siliceous Sediments of Modern and Ancient Lakes*", *Geochemistry of Silica*, Ed. Strakhov, Pp. 301-320.
13. RIVERA R., Patricio, (1970), "*Diatomeas de los Lagos Rancho, Laja y Laguna chica de San Pedro*", Chile, Ed. GUYANA, *Botánica* No. 20, Pp. 120-123.
14. RIVERA R., Patricio, (1968), "*Sinopsis de las diatomeas de la Bahía de Concepción*", Chile, Ed. GUYANA, *Botánica* No. 18, Pp. 18-27.
15. Fideicomiso de Fomento Minero, (1998) "*Estudio de Mercado de la diatomita*", (Comunicación Personal).
16. SWEDLUND J., Peter, and WEBSTER G., Jenni, (1999), "*Adsorption and polymerisation of silicic acid on Ferrihydrite, and its effect on arsenic adsorption*", All rights reserved, Pp 3413-3422.
17. ELIZALDE GONZÁLEZ, J., Mattsch, D., Einick and, R., Wenrich, (2001), "*Sorption on natural solids for arsenic removal*", Ed. *Chemical Engineering Journal*, Pp 187-195.
18. R. V., Nicholson, (1994), "*Iron-sulfide oxidation mechanisms: Laboratory studies*", Canadá, Eds. Jambor, J. L. & Blowes, D. W., *short course on environmental geochemistry of sulfide mine-wastes*. Mineral Assoc., Pp. 163-183.

19. ELLIS W., Raymond, (1997), "*Water conditioning and purification*", All rights reserved, Pp. 54-57.
20. CLAUSEN S., J. J., Alvaro, (2004), "*Introduction to microfossils*", University of UTAH, Pp. 200-204.
21. L. L., Bahls, E. E., Weber & J. O., Jarvie, (1984), "*Ecology and Distribution of Major Diatom Ecotypes in the Southern Fort Union Coal Region of Montana*", Ed. U.S. Geol, Survey Prof. Paper N° 1289, Pp. 88-103.
22. Davidowski, L. (1993), A simple continuous flow hydride generator for ICP- OES Perkin Elmer, Connecticut, EUA. 1-7.
23. DE RIVERO PALACIO, Frances Charlton, y BERMUDEZ, Pedro Joaquin, (1963), "*Micropaleontología general*", Ed. U.C.V., Venezuela, Pp. 21-26

ANEXO

ANÁLISIS MICROPALÉONTOLÓGICO

Las muestras naturales presentan un color blanco, de granulometría fina, tiene un brillo mate terroso. Las especies de diatomeas observadas presentan frústulas de forma: alargada, lanceolada, elípticas y fusiformes. Las frústulas rotas generalmente corresponden a las formas grandes. Estas diatomeas pertenecen a la orden pennales entre los géneros que se encuentran tenemos: *Fragilaria*, *Cymbella*, *Comphonema*, *Anomaeoneis* y *suririlla* como se puede observar en las figuras 13 a la 17. En las cuales se presentan una abundancia de frústulas de diatomeas: Enteras 50%, fraccionadas 20% otros elementos 30% [20, 23].

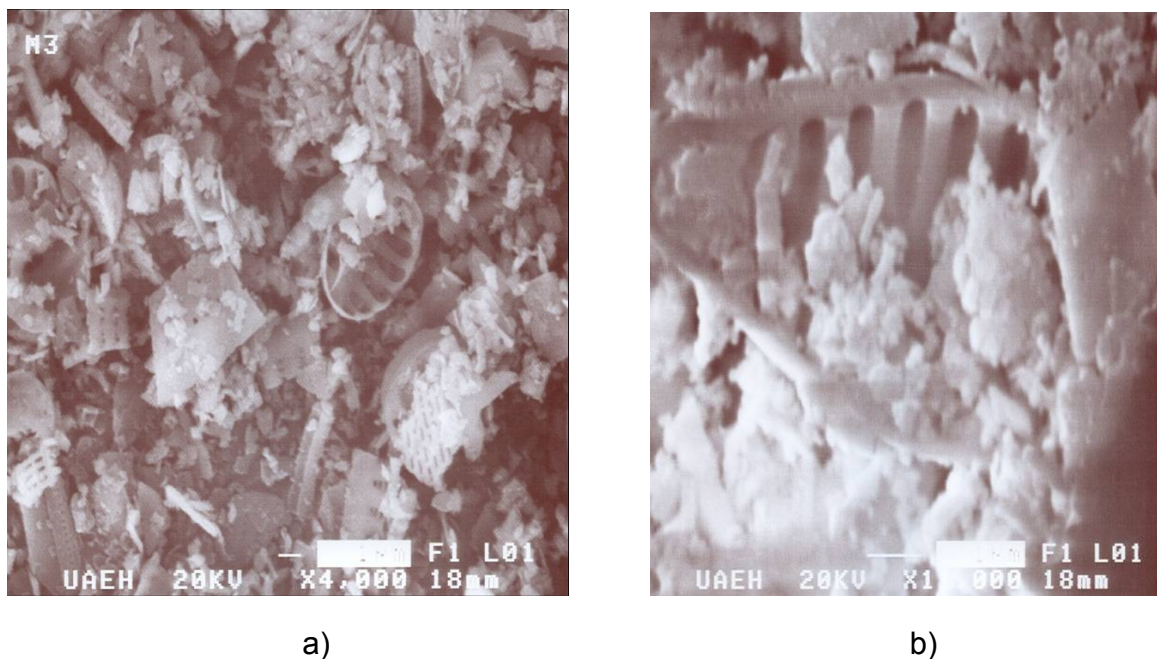
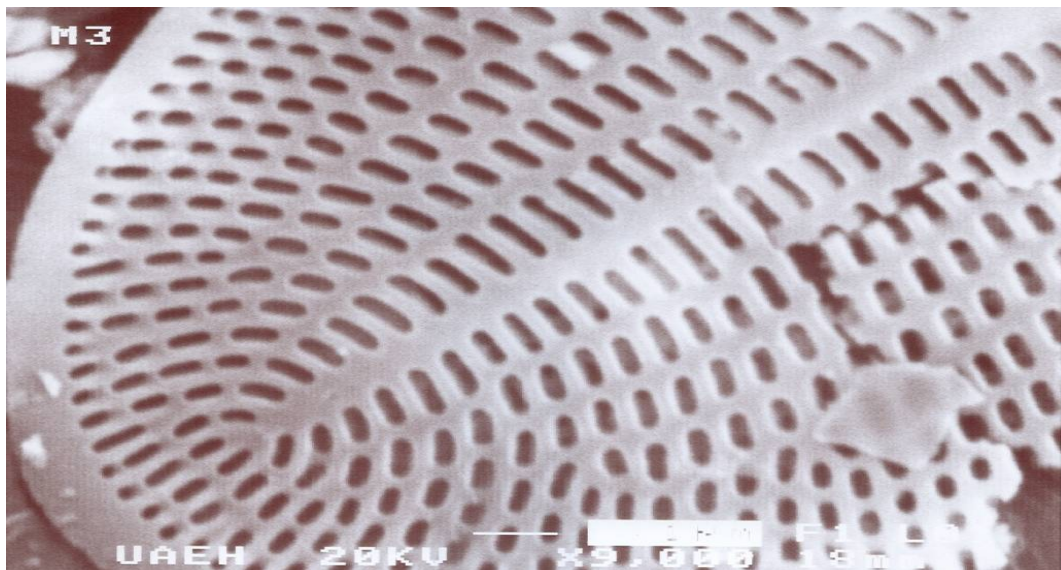
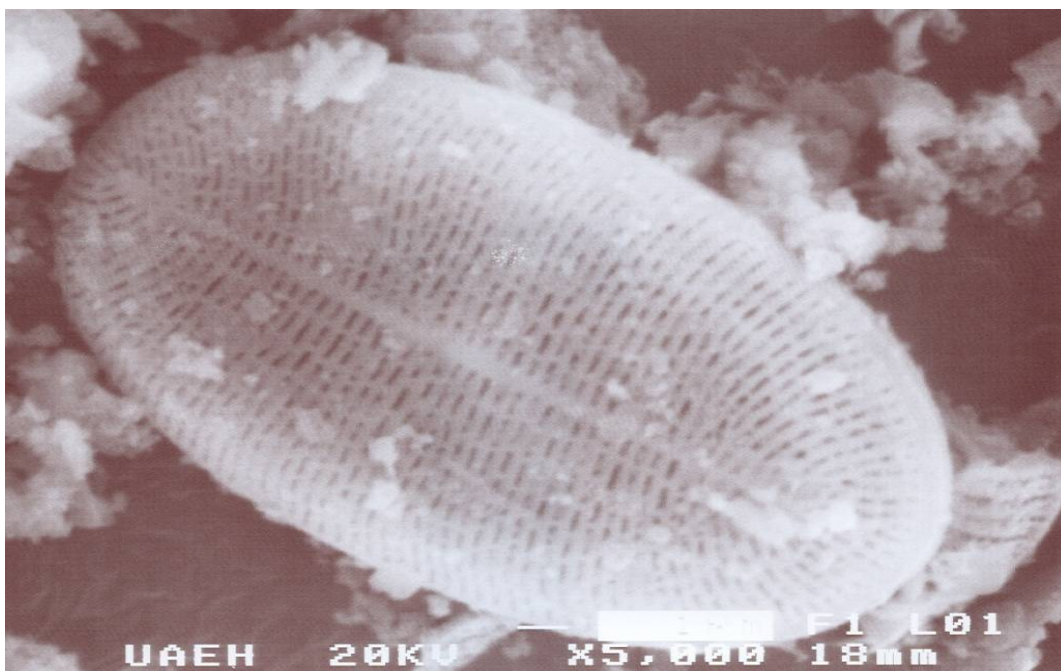


Figura 13. Fotomicrografías de diatomita obtenidas en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol, con detector EDS a 20Kv 4,000 aumentos muestra la a)diversificación de fósiles contenidos en la diatomita b) frústula de posible nombre *Liradiscus bipolares* Lohman 1,100 aumentos

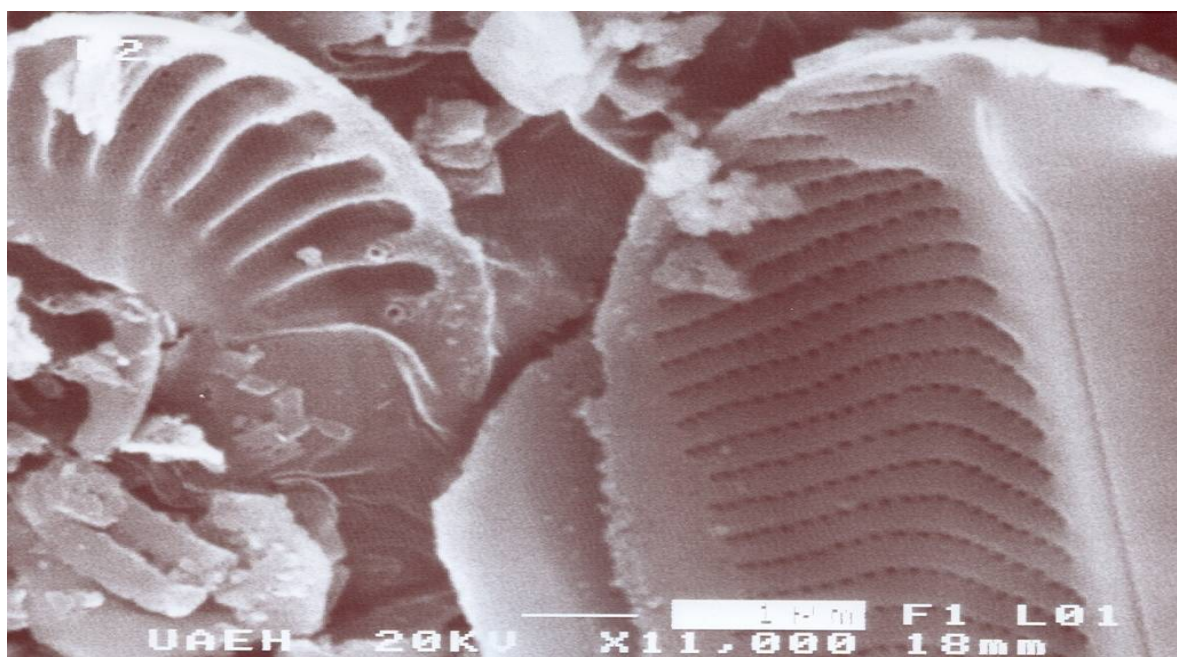


a)

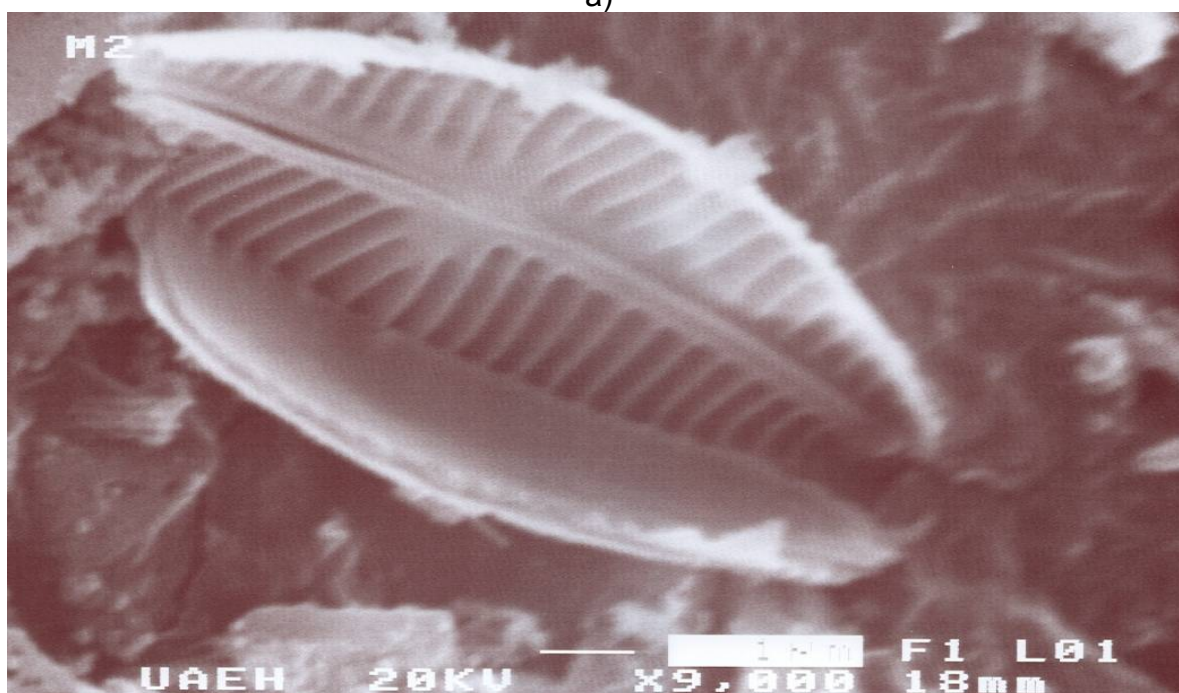


b)

Figura 14. Fotomicrografía obtenida en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol con detector EDS a 20 Kv. Donde se muestran las frústulas contenidas en la diatomita con posible nombre de: a) *Nitzschia* 9,000 aumentos, (b) *Nitzschia* 5,000 aumentos

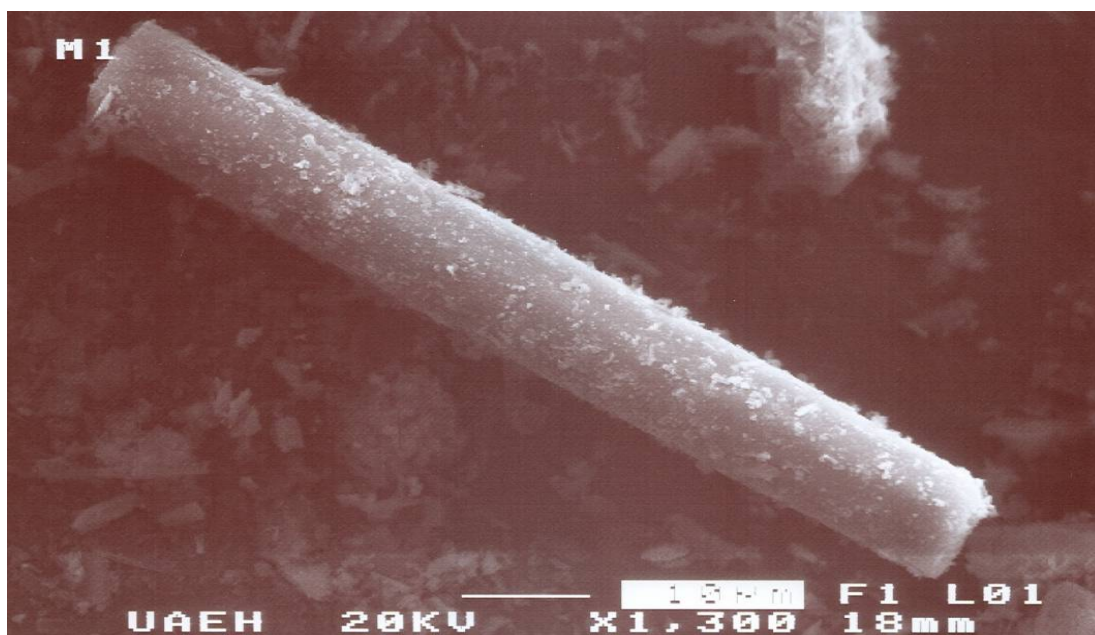


a)

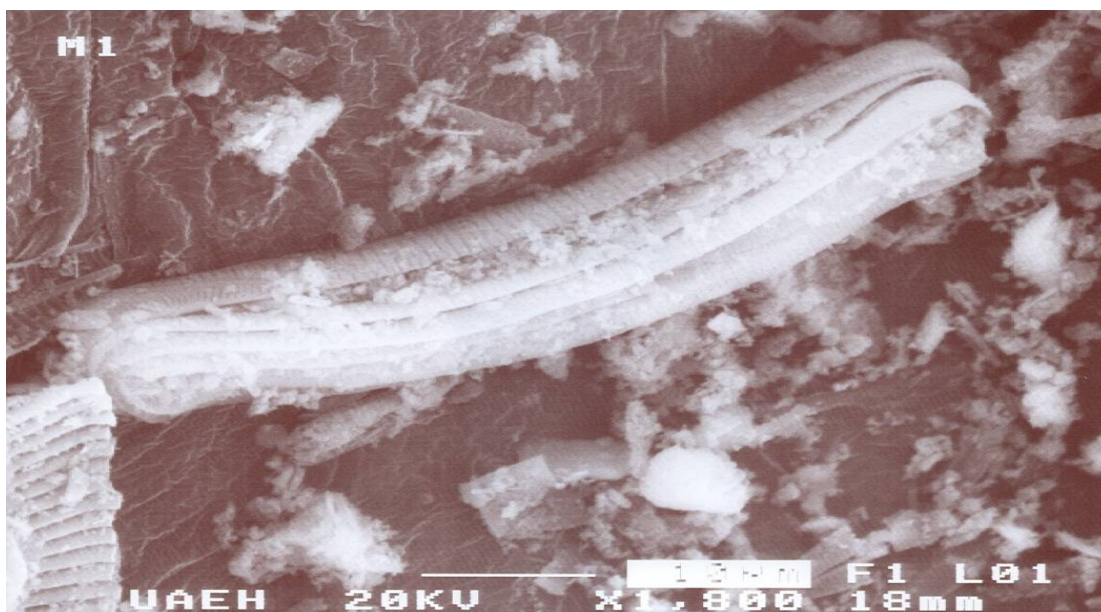


b)

Figura 15. Fotomicrografía obtenida en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol con detector EDS a 20 Kv donde se observan las frústulas contenidas en la diatomita de posible nombre a) *agastogloea smithii* Thwaites 11,000 aumentos, b) *Magastogloea smithii* Thwaites 9,000 aumentos.

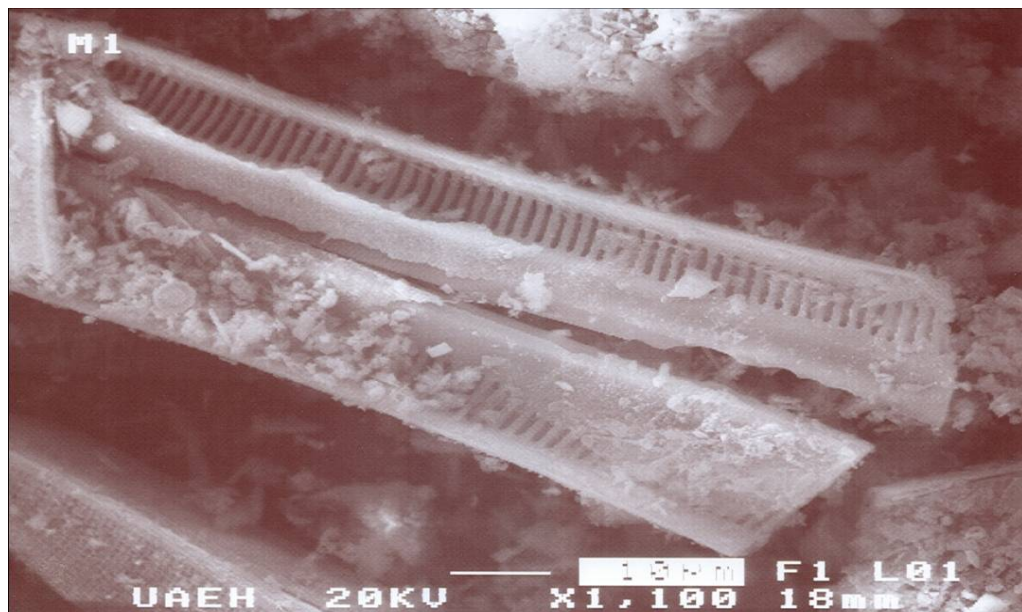


a)

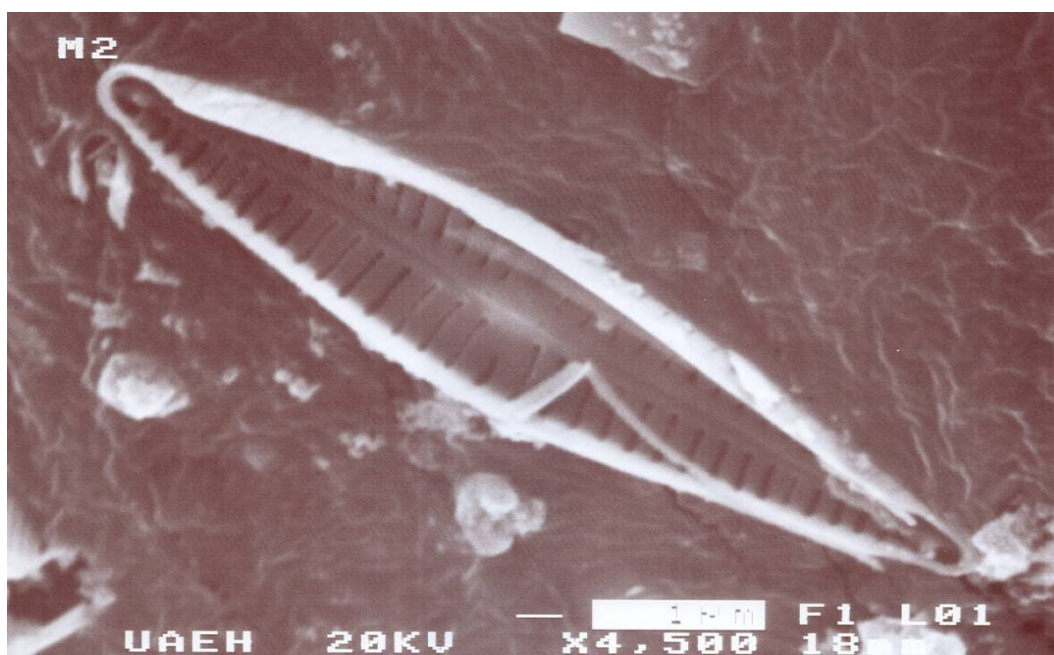


b)

Figura 16. Fotomicrografía obtenida en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol con detector EDS a 20 Kv donde se observan las frústulas contenidas en la diatomita de posible nombre: a) Naviculas, Gailoneas 1,300 aumentos, b) Pinnularia viridis 1,000 aumentos



a)



b)

Figura 17. Fotomicrografía obtenida en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol con detector EDS a 20 Kv donde se observan las frústulas contenidas en la diatomita a) *Rhopalodia gibba* 1,100 aumentos, b) *Cymbella ventricosa kutzing* 4,500 aumentos.

En base a este estudio micropaleontológico se determinó que posiblemente la formación de este yacimiento corresponde a una formación lacustre de agua dulce (20, 21,23).

GLOSARIO DE TERMINOS

Absorción: proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase. Esta segunda fase puede ser líquida, gaseosa o sólida la adsorción no es un proceso de superficie, sino de volumen.

Amorfa.- sustancias no cristalizadas o sin forma.

Bentonita.- Arcilla mineral compuesta principalmente por morillonita, con presencia de cuarzos.

Biogénico.- depósito resultante de actividades fisiológicas de organismos.

Calcinación, proceso químico e industrial en el que se calienta un material sin fundirlo, con el fin de eliminar sus componentes volátiles.

Concentración: es la magnitud física que expresa la cantidad de un elemento o un compuesto por unidad de volumen.

Depósito: Parte o fracción de la corteza terrestre donde por procesos geológicos se formaron o forman (o acumulan) sustancias minerales útiles, que pueden ser explotados con beneficio económico, con los medios técnicos disponibles.

Diatomita: es una roca porosa silícica, compuesta por esqueletos fosilizados y finos gránulos de sílice amorfa.

Fotosíntesis: es el proceso de nutrición de las plantas, mediante el cual a través de la energía de la luz transforman el agua que absorben de las raíces y el anhídrido carbónico que adquieren por las hojas, en sustancias orgánicas sencillas.

Frústula.- Pared celular impregnada de sílice característica de la diatomita.

Greña.- Término utilizado para referirse al mineral en bruto.

Kieselghur.- Sinónimo de tierra diatomea.

Porosidad: se refiere a la existencia de espacios formados por agua y aire entre las partículas que constituyen las tierras.

Sinterización: es la remoción de poros entre partículas precursoras, acompañadas de un encogimiento y formación de fuertes enlaces entre partículas.

Unicelular.- Organismo cuyo cuerpo está formado por una sola célula.

Valva.- Parte del esqueleto de algún extremo exterior de un fósil.

LISTA DE ABREVIATURAS

As°	Arsénico en estado elemental
°C	Grados centígrados
°C/min.	Grados centígrados por minuto
g	Gramo
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
Kv	Kilovolts
L	Litro
m	Metro
µg	Microgramo
µm	Micrómetro
mA	Miliamperio
mL	Mililitro
Min.	Minuto
pH	Potencial de hidrogeno
%	Porcentaje
V. agua	Volumen de agua
V. dia	Volumen de Diatomita

LISTA DE FIGURAS

	página
1. Diagrama del proceso de la diatomita	10
2. Mapa de los principales estados productores de diatomita en México	15
3. Gráfica comparativa de la producción de la diatomita en México	16
4. Mapa de localización del yacimiento de Loma Larga, municipio de Acatlán, Hidalgo	18
5. Fotografía donde se observa la toma de muestras del depósito de diatomita, ubicado en Loma Larga, municipio de Acatlán, Hidalgo.	19
6. Difractómetro de rayos X marca Philips, modelo X Pert	21
7. Microscopio electrónico de barrido, marca Jeol 6300	22
8. Difractograma de rayos X	27
9. Espectro de difracción de electrones dispersivos del material en forma natural	28
10. Fotomicrografía donde se observa la porosidad de la diatomita natural a 13,000 X.	29
11. Fotomicrografías donde se muestra la porosidad de la diatomita (a) calcinada con fundente (b) calcinada sin fundente	31
12. Tratamiento de disminución de arsénico de agua potable del pozo V de Zimapán	34

LISTA DE TABLAS

	página
1. Composición química de diatomita	8
2. Propiedades físicas de diatomitas requeridas en la industria	9
3. Usos industriales de diatomita	13
4. Especies mineralógicas presentes de las diatomitas estudiadas	26
5. Composición química de diatomita natural, calcinada y calcinada con fundente	30
6. Usos industriales propuestos para la diatomita estudiada	33