

Caracterización de nano estructuras de tierras diatomitas y su uso potencial en la descontaminación del agua

José Alfredo García Alonso¹, Jorge del Real², Carlos Alberto Guzmán Gonzales¹, Belkis Coromoto Sulbarán Rangel^{1*}

¹CUTONALA, Universidad de Guadalajara, Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Av. Nuevo Periférico No. 555 Ejido San José Tatepozco, Tonalá Jalisco, México, 45425. ² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ).

Resumen

En las últimas décadas, diversas tecnologías de tratamiento de agua se han propuesto y aplicado en los niveles experimentales y de campo. Así pues, entre los sistemas de descontaminación más utilizados en la actualidad se tiene: centrifugación, filtración, separación, sedimentación, coagulación y floculación, tratamientos aerobios y anaerobios, ósmosis, nanofiltración, microfiltración, adsorción etc. Igualmente, la cloración, la ozonización, la radiación ultravioleta y el empleo de membranas. Sin embargo, no todas estas tecnologías alcanzan los mismos rendimientos, entendiéndose por rendimiento el porcentaje de reducción de todos los contaminantes, los mismos costos o tienen el mismo proceso de regeneración o limpieza. En este sentido, el objetivo de esta investigación es el estudio de materiales nano estructurados de tierras diatomitas para uso en la descontaminación del agua, el material fue modificado por calcinación y por acción mecánica para aumentar el área superficial. La diatomita es una roca de origen sedimentario y de composición silíceo. Consiste principalmente de restos de esqueletos fosilizados de diatomeas. Las diatomeas son plantas unicelulares acuáticas relacionadas con las algas y se las clasifican como minerales de origen orgánico. El uso de este tipo de material servirá de complemento con los métodos de tratamiento de aguas ya establecidos para mejorar la eficiencia y economizar los procesos.

Palabras claves: Tierras diatomitas, nanoestructura, caracterización de yacimiento.

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de agua ha aumentado durante el último siglo al doble de velocidad que la tasa de población. Año tras año se intensifica la competencia por los recursos hídricos, que han de repartirse entre el consumo humano, las actividades recreativas, la agricultura y los entornos naturales. Además del consumo la contaminación de este recurso también se ha incrementado. Se entiende como contaminación hídrica a la incorporación de materias extrañas (microorganismos, productos químicos, residuos industriales, aguas residuales) al agua, estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los diversos usos. El crecimiento demográfico, los cambios climáticos y la creciente escasez de fuentes de agua para el consumo humano, han acelerado el reúso del agua; y se prevé que esta demanda aumente en la medida que decrezca su disponibilidad y se incremente la necesidad de agua de primer uso o potable (Escalante y col., 2003; Salud, 2005). México no se escapa de esta realidad, específicamente en el estado de Jalisco un ejemplo es el lago de Chapala el cual abastece de agua para consumo a gran parte de la zona metropolitana de Guadalajara pero ya su capacidad se ve afectada por los factores de explotación del agua, contaminación y los efectos climáticos, por tanto, existe la necesidad de tener otras alternativas de fuentes naturales de aguas para consumo humano o mejorar los sistemas de tratamiento y potabilización de agua (MIA, 2012).

Las plantas convencionales de tratamiento de agua superficial utilizan una secuencia de procesos más o menos estándar. Después de filtrar objetos grandes como peces y palos, se añaden coagulantes químicos al agua para lograr que las diminutas partículas en suspensión que enturbian el agua se atraigan entre sí para formar “flóculos”. Cuando los flóculos son lo suficientemente grandes y pesados para sedimentarse, el agua se

traslada a estanques de sedimentación o decantación. Cuando la mayoría de los sólidos se ha sedimentado, típicamente ocurre alguna forma de filtración ya sea por medio de arena o de membranas. Para el tratamiento más eficaz, se utiliza una combinación de tecnologías para asegurar que el agua esté completamente descontaminada (Chekli y col., 2016; Escalante y col., 2003).

La nanotecnología es una rama que ofrece la posibilidad de usar la materia a escala nanométrica, como es el caso de materiales nanoestructurados de origen natural como las tierras diatomitas. Las tierras diatomita son rocas de origen sedimentario y de composición silíceo. Consiste principalmente de restos de esqueletos fosilizados de diatomeas. Las diatomeas son plantas unicelulares acuáticas relacionadas con las algas y se las clasifican como minerales de origen orgánico, las especies mineralógicas que componen las diatomitas son: sílice como fase mayoritaria, bernilita, ortoclasa, andesina, feldespato y albita. Uno de sus usos industriales es como intercambio iónico para la eliminación o disminución de metales pesados; como el arsénico, este elemento se encuentra presente en las aguas residuales debido a vertidos industriales y en algunos casos por fuentes naturales y 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 reduzca la concentración en el contenido de metales tóxicos en los medios acuáticos, y sobretodo, hasta unos niveles que no generen problemas de toxicidad. 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 (Borgel E., 2007). En este sentido, el objetivo de esta investigación es el estudio de materiales nano estructurados de tierras diatomitas para uso en la descontaminación del agua. El uso de este tipo de material servirá de complemento con los métodos de tratamiento de aguas ya establecidos para mejorar la eficiencia y economizar los procesos.

2. MATERIALES

Se tomaron 400g de tierras diatomitas como muestra del yacimiento ubicado en la localidad General Andrés Figueroa (Catarina dos) en el municipio Zacoalco de Torres en el estado de Jalisco, las coordenadas del yacimiento fueron $20^{\circ}18'54.50''$ N $103^{\circ}36'42.57''$ O a elevación de 1358 m (Imagen 1).



Imagen 1. Fotografía aérea tomada del google map, en donde se observa la ubicación del yacimiento de diatomitas

Las muestras obtenidas del yacimiento fueron molidas mediante un mortero, por su baja dureza se desintegró fácilmente y no fue necesario utilizar un equipo más especializado, posteriormente la muestra fue tamizada para obtener un tamaño homogéneo de partícula.

3. METODOLOGÍA

El material de las tierras diatomitas fue modificado por métodos térmicos, calcinación a 550 °C y 900°C en una mufla eléctrica. La calcinación es un proceso industrial que se aplica para mejorar la calidad de las diatomitas, porque produce cambios favorables de las propiedades de la diatomita como son los cambios de granulometría y eliminación de la materia orgánica que obstruye los poros de las diatomeas y afecta a la capacidad filtrante.

Luego se procedió a caracterizar el material de las tierras diatomitas sin y con modificación térmica. Siguiendo técnicas estándares de caracterización de materiales se procedió a medir:

- Contenido de humedad: se realiza para determinar la cantidad de agua presente en la muestra y se calcula mediante la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en el horno a una temperatura entre los 105°-110° C, siguiendo la norma estandarizada TAPPI T412 om-94.

- % Ceniza: se realiza para determinar el contenido de sustancias inorgánica en la muestra, se calcula por diferencia de peso inicial y contenido de ceniza final al someter la muestra a más de 550°C, según la norma estandarizada TAPPI T211 om-93.

- Composición química: se realiza mediante difracción de rayos X (XRD por sus siglas en inglés). Los rayos X son una radiación electromagnética de longitud de onda corta producida por el frenado de electrones de elevada energía o por transiciones de electrones que se encuentran en los orbitales internos de los átomos, con este efecto se puede determinar la los elementos mineralógicos que componen las tierras diatomitas.

- Morfología de las tierras diatomitas: se realiza mediante el análisis de imágenes realizadas por microscopia electrónica de barrido SEM de alta resolución. Adicionalmente con el uso de un software analizador de imágenes se determinara la porosidad.

4. RESULTADOS

Las muestras de tierras diatomitas (TD) se les determino contenido de humedad, el cual fue de 12%. Los valores de contenido de ceniza fueron determinados a las muestras calcinadas a 550° y 900°C de acuerdo al método estándar de %Ceniza TAPPI T211 om-02 (ver Tabla 1).

Tabla 1 Contenido de ceniza de las muestras modificadas térmicamente

Muestra	% Ceniza
TD-550°C	91.43
TD-900°C	96.04

Los valores de ceniza indican la abundancia de sustancia inorgánica en las muestras que va de acuerdo a lo reportado por otros autores en donde indican que el componente fundamental de la diatomita es la sílice y puede variar desde el 68% al 92% dependiendo del origen, asimismo, se ha reportado que existen componentes menores como: hierro, calcio, aluminio, titanio, sodio y potasio. 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 (Borgel E., 2007; Hernández-Ávila y col., 2017)

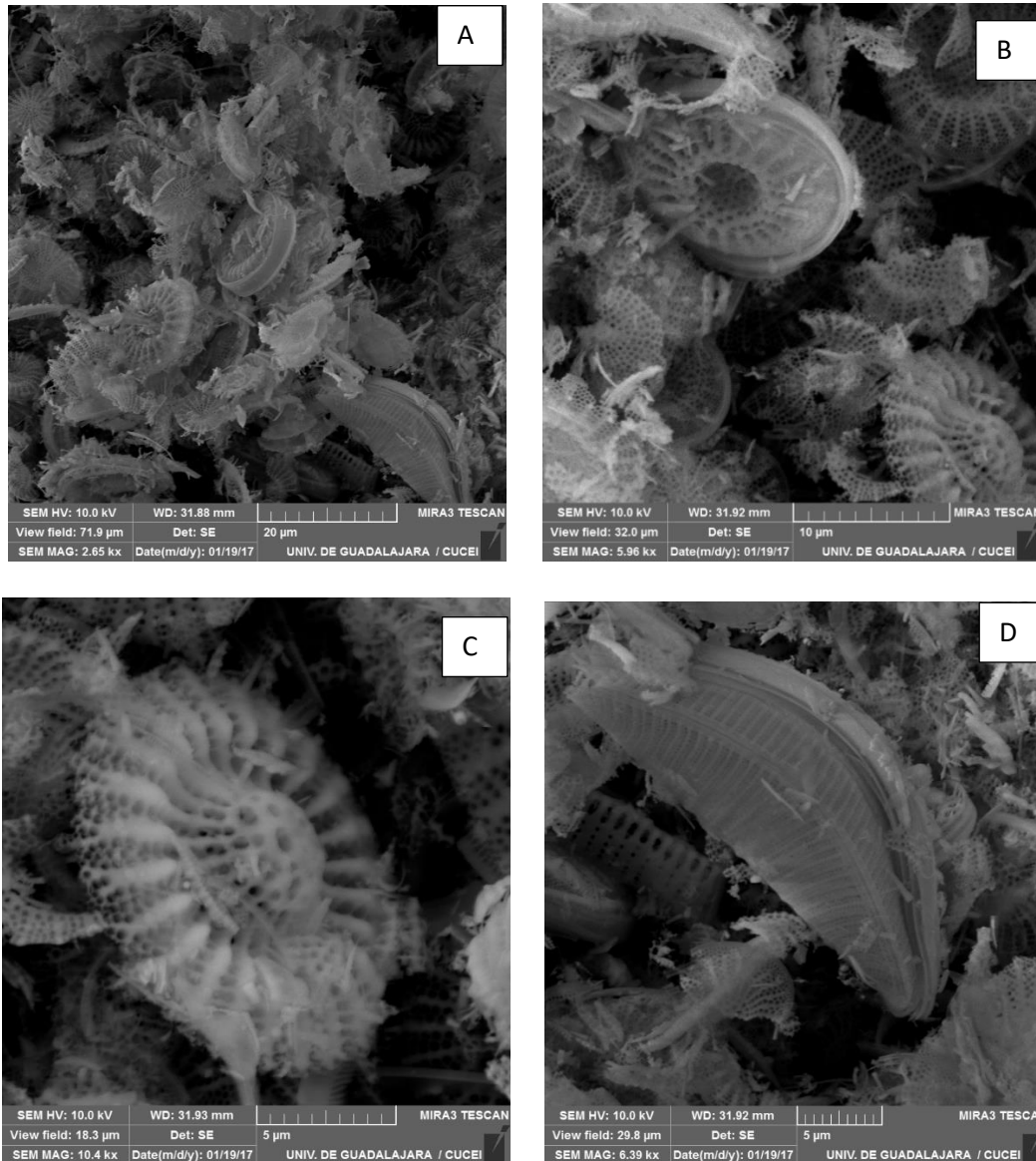


Imagen 2. Fotografías SEM de las tierras diatomitas. A) Vista a 20µm, B) Vista a 10µm, C) y D) Vistas a 5 µm

En cuanto a la morfología de las muestras a escala macroscópica, se observan como polvos generalmente de conformación irregular. Para analizar mejor la morfología de las tierras diatomitas, las muestras fueron observadas en el microscopio electrónico de barrido a diferentes magnificaciones con el propósito de ver las formas de las partículas y tamaño de poro. En las muestras se encontraron formas diversas, relacionadas con las especies de algas que dan origen a estas diatomeas. 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, como se ve en la imagen 2.

Para medir la porosidad de las muestras de tierra diatomita se analizaron las imágenes SEM y utilizando el software ImageJ se midió el diámetro de los poros, se estimó que el diámetro de poro mínimo esta alrededor de 50nm y máximo esta en 400nm. Como se puede observar en la Figura 1, la mayor cantidad de poros tienen

un diámetro promedio de 150nm. Estos valores de tamaño de poro indican que se trata de un material nano estructurado. Las tierras diatomitas se podrían utilizar en sistemas de nanofiltración, estos sistemas proporcionan eliminación de casi completa de: coliformes fecales, virus, bacterias, metales pesados, eliminan la mayoría de contaminantes orgánicos y pueden reducir la dureza del agua.

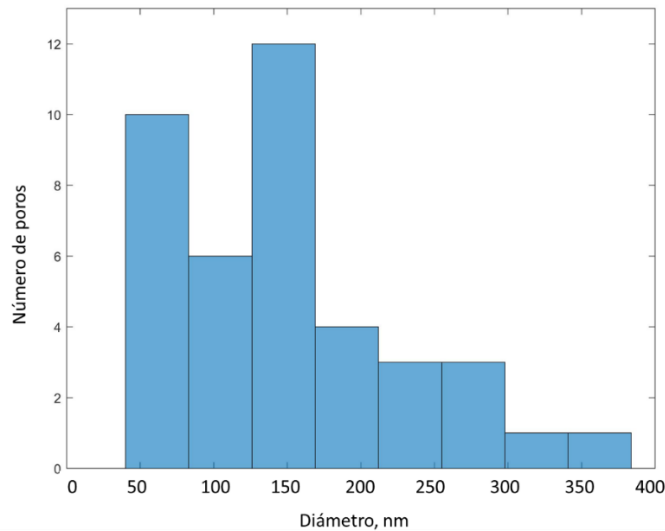


Figura 1 Distribución de tamaño de los poros encontrados en las tierras diatomitas

Otras porciones de las muestras de diatomita se analizaron por difracción de rayos X para poder determinar las fases mineralógicas de las diatomitas. Se utilizó un equipo XRD SIEMENS D500 Modelo Kristallograph con una radiación de Cu Ka, longitud de onda de 0.1542 nm y velocidad de barrido de 0.02 θ /min. Los difractogramas 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 Comité of Power Diffraction Standards (JCPDS).

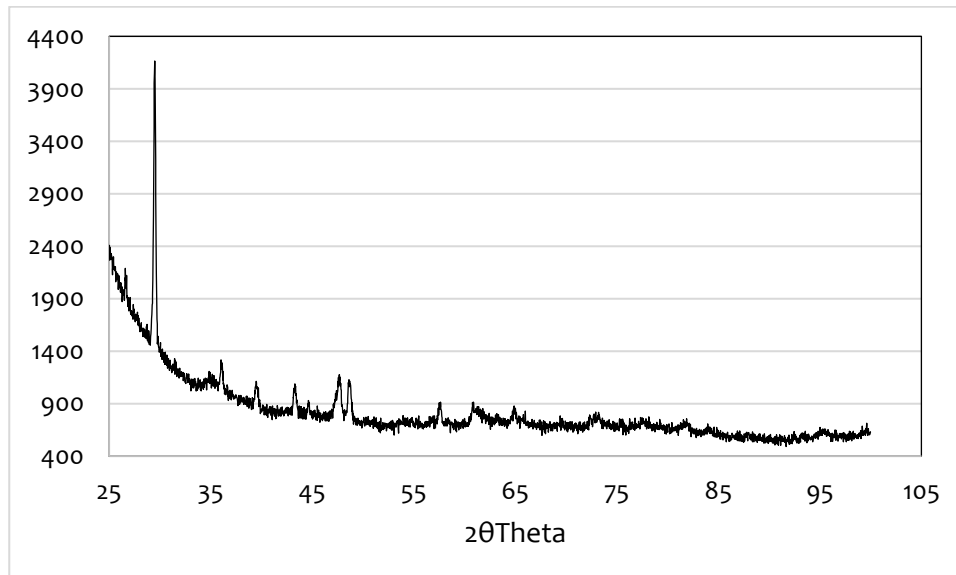


Figura 2 Difractograma de las tierras diatomitas estudiadas

En la Figura 2 se muestran las principales líneas de difracción de rayos X de la diatomita en donde indica la presencia de fases cristalinas de las especies mineralógicas que componen las diatomitas, básicamente la fase mayoritaria es de sílice (SiO₂), esto corresponde con estudios previos sobre tierras diatomitas encontradas en otras partes del mundo. A partir del análisis elemental por fluorescencia de rayos X de la diatomita, fue posible conocer la composición del material expresada en porcentaje en peso, indicando que sus componentes mayoritarios, son silicio, aluminio e hierro, los cuales presentados como óxidos están del orden de 70, 25 y 5% en peso y corresponde a lo reportado con otros autores (Quintana y col., 2014; Vargas y col., 2007)

5. CONCLUSIONES

Las tierras diatomitas son un valioso material que gracias a sus propiedades fisicoquímicas, abre la posibilidad para el desarrollo de nuevas tecnologías con gran capacidad de adsorción e intercambio iónico, de sales inorgánicas con metales pesados, para su aplicación en la remediación de problemas ambientales, que hasta ahora no figuran dentro de los usos convencionales de la diatomita. Los valores de distribución de tamaño de los poros encontrados en las tierras diatomitas indican que este material de origen biológico tiene la capacidad de actuar como medio filtrante en sistemas de tratamiento de aguas ya que el tamaño de muchos contaminantes es mayor al diámetro de las diatomitas, por tanto podrían funcionar como un medio físico de barrera basado en los tamaños de estos constituyentes. Los resultados mostrados son el principio de una línea de investigación que consiste en el mejoramiento de materiales biológicos como las tierras diatomitas para mejorar procesos de tratamiento de aguas.

REFERENCIAS

- [1] Borgel E., I. (2007). *Caracterización del yacimiento de diatomita de loma larga, municipio de Acatlán, Hidalgo y evaluación de sus aplicaciones alternas*. (Ingeniería), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mexico.
- [2] Chekli, L., Phuntsho, S., Kim, J.E., Kim, J., Choi, J.Y., Choi, J.-S., . . . Shon, H.K. (2016). A comprehensive review of hybrid forward osmosis systems: Performance, applications and future prospects. *Journal of Membrane Science*, 497, 430-449.
- [3] Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., . . . Villavicencio, F. (2003). El reuso del agua residual tratada en México. *Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales*, 230-236.
- [4] Hernández-Ávila, J., Salinas-Rodríguez, E., Cerecedo-Sáenz, E., Reyes-Valderrama, M.I., Arenas-Flores, A., Román-Gutiérrez, A.D., & Rodríguez-Lugo, V. (2017). Diatoms and Their Capability for Heavy Metals Removal by Cationic Exchange
- [5] MIA. (2012). *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular para el proyecto "Puente de Acceso y Edificio de Agua y Energía del Centro Universitario de Tonalá"*. Mexico: Geo Servicios de Consultoría Ambiental S.C. .
- [6] Quintana, J.H., Aparicio, A.P., Parra, L.K., Henao, J.A., & Ríos, C.A. (2014). Estudio de Parámetros de Síntesis de las estructuras zeolíticas Linde Tipo A (LTA) y Faujasita (FAU) X a partir de aluminio post-consumo y diatomita, para la remoción de metales pesados. 2014, 14.
- [7] Salud, O.M.d.I. (2005). Estadísticas sanitarias mundiales 2005: World Health Organization. Vargas, C.E., Jiménez, G., & Naranjo, W.E. (2007). Caracterización de diatomita por difracción de rayos X. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 4(1).

* Correo autor: belkis.sulbaran@academicos.udg.mx