

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“Nanopartículas de plata depositadas en
zeolita natural para el tratamiento de agua”**

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el GRADO de

MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD

Presenta:

Karla Terán Samaniego

Directora de Tesis:

Dra. Juana Alvarado Ibarra

Codirectora de Tesis:

Dra. Diana Vargas Hernández

HERMOSILLO, SONORA

ENERO 2017

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**

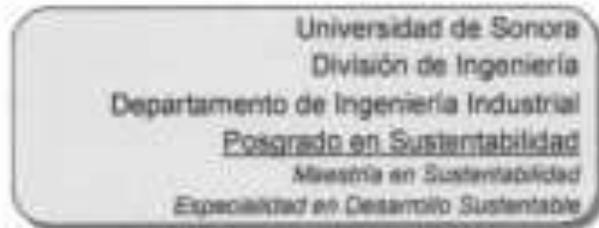


Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Hermosillo, Sonora a 23 de enero de 2017.

Dr. Luis E. Velázquez Contreras
Coordinador del Programa
Maestría en Sustentabilidad
Presente.-

Por este conducto hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el examen de posgrado de la alumna Karla Terán Samaniego con expediente 215190085; el cual se llevará a cabo el día martes 31 de enero de 2017 a las 11:15 a.m., en la sala Motomichi Inoue de la División de ingeniería, que se encuentra localizada en el edificio 3 "G", tercer piso.

Relación de Jurados:

	NOMBRE
PRESIDENTE:	Dra. Juana Alvarado Ibarra.
SECRETARIO:	Dra. Nora Eiba Munguía Vega.
VOCAL:	M. S. Maritza Moreno Grano.
SUPLENTE:	Dr. Javier Esquer Peralta.

FIRMA

ATENTAMENTE

MIEMBROS DEL JURADO

RESUMEN

En este documento se presenta el uso de dos tipos de zeolita, chabazita y clinoptilolita, ambas en su estado natural y modificadas con plata (Ag), para lograr la adsorción de la molécula de dicloro difenil dicloroetano (DDD) en una solución acuosa a través de la aplicación de la siguiente metodología: 1) obtención de la muestra, 2) preparación, 3) activación, 4) pruebas experimentales, 5) resultados de cinéticas e isothermas, y 6) análisis de resultados.

En la parte de las pruebas experimentales se encontró que el equilibrio se presenta a los 180 minutos de contacto y que la plata tiene una participación considerable al incrementar la eficiencia de adsorción para el caso de la chabazita en un 96%, y para la clinoptilolita en un 95%. Los datos ajustaron perfectamente al modelo de Langmuir, en el cual se observa que la energía de adsorción incrementa cuando hay aumento en la temperatura, lo que indica un decremento de la adsorción a altas temperaturas; teniendo que el orden de adsorción es $25\text{ }^{\circ}\text{C} > 35\text{ }^{\circ}\text{C} > 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, al tener que la adsorción es menor cuando la temperatura es mayor.

Se concluye entonces que es posible que el compuesto de zeolita natural modificada con Ag, adsorba la molécula de DDD; en el caso de las muestras de chabazita y clinoptilolita, las modificadas con 2% de Ag y expuestas a un proceso de adsorción a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, fueron las que presentaron mayor capacidad de adsorción de la molécula de DDD, y comparando estas dos muestras, la que tiene mejor desempeño es la chabazita.

ABSTRACT

This paper presents the use of two types of zeolite, chabazite and clinoptilolite, both in their natural state and also in a modified condition with silver (Ag), to achieve the adsorption of the dichloro diphenyl dichloroethane (DDD) molecule, in an aqueous solution through the application of the following methodology: 1) obtaining the sample, 2) preparation, 3) activation, 4) experimental tests, 5) kinetic and isothermal results, and 6) results analysis.

In the part of the experimental tests, it was found that equilibrium occurs at 360 minutes of contact and that silver has a considerable participation in increasing the adsorption efficiency in the case of chabazite by 96%, and for clinoptilolite by 95%. The data fitted perfectly to the Langmuir model, in which it is observed that the adsorption energy increases when there is an increment in temperature, which indicates a decrease of the adsorption at high temperatures; resulting the adsorption order of $25\text{ }^{\circ}\text{C} > 35\text{ }^{\circ}\text{C} > 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, since the adsorption is lower when the temperature is higher.

It is then concluded that it is possible that the Ag modified natural zeolite compound adsorbs the DDD molecule; in the case of samples of chabazite and clinoptilolite modified with 2% of Ag and exposed to a process of removal at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, were those that presented greater capacity of adsorption of the molecule of DDD, nevertheless, between these two samples, the one that has better performance is the chabazita.

ÍNDICE

Índice de Contenido.

No.	Contenido	página
I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVO ESTRATÉGICO	3
III.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
IV.	ANÁLISIS LITERARIO	4
	4.1 Problemática de acceso al agua potable	4
	4.2 Problemas de la contaminación del agua por Contaminantes Orgánicos Persistentes (Dicloro difenil dicloroetano)	5
	4.3 Regulación legal para los COPs (DDD)	7
	4.4 Aplicaciones de vanguardia en el tratamiento de agua	10
	4.5 Uso de nanopartículas y zeolita	12
	4.6 Técnicas de caracterización para el análisis de nanopartículas soportadas en zeolitas	14
V.	METODOLOGÍA	17
	5.1 Tipo de estudio	17
	5.2 Diseño metodológico	17
	5.3 Alcance	20
	5.4 Hipótesis	20
	5.5 Objeto de estudio	20
	5.6 Selección y tamaño de muestra	20
	5.7 Instrumentos de recolección y manejo de datos	21
VI.	RESULTADOS	22
	6.1 Elaboración del análisis literario	22
	6.2 Caracterización física y química de las muestras ZNCH, ZNCL, ZNCH3%Ag y ZNCL3%Ag	22
	6.3 Pruebas cinéticas	26
	6.4 Pruebas isotermas	32
VII.	DISCUSIÓN	42
VIII.	CONCLUSIONES	46
IX.	RECOMENDACIONES	47
X.	REFERENCIAS	48

Índice de Tablas

No.	Descripción	Página
1.	Matriz de experimentos realizados para pruebas cinéticas e isotermas	19
2.	Clasificación de referencias	22
3.	Elementos y porcentajes de las muestras ZNCH y ZNCH3%Ag	26
4.	Elementos y porcentajes de las muestras ZNCL y ZNCL3%Ag	26
5.	Parámetros de modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden	39
6.	Constantes de Langmuir para el DDD	41

Índice de Figuras.

No.	Contenido	página
1.	Diseño de la metodología	17
2.	Micrografía de la muestra ZNCH	23
3.	Micrografía de la muestra ZNCL	23
4.	Micrografía de la muestra ZNCH35Ag	24
5.	Micrografía de la muestra ZNCL3%Ag	24
6.	Espectro de la muestra ZNCH3%Ag	25
7.	Espectro de la muestra ZNCL3%Ag	25
8.	Zeolita natural tipo chabazita a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas	28
9.	Zeolita natural tipo chabazita con 1% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas	28
10.	Zeolita natural tipo chabazita con 2% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas	29
11.	Zeolita natural tipo chabazita con 3% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas	29
12.	Zeolita natural tipo clinoptilolita a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas	30
13.	Zeolita natural tipo clinoptilolita con 1% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas	30
14.	Zeolita natural tipo clinoptilolita con 2% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas	31
15.	Zeolita natural tipo clinoptilolita con 3% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas	31
16.	Zeolita natural tipo chabazita a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isoterms	34
17.	Zeolita natural tipo chabazita con 1% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isoterms	34
18.	Zeolita natural tipo chabazita con 2% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isoterms	35
19.	Zeolita natural tipo chabazita con 3% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isoterms	35
20.	Zeolita natural tipo clinoptilolita a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isoterms	36

21.	Zeolita natural tipo clinoptilolita con 1% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isotermas _____	36
22.	Zeolita natural tipo clinoptilolita con 2% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isotermas _____	37
23.	Zeolita natural tipo clinoptilolita con 3% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isotermas _____	37

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital y el acceso a ella representa un beneficio, ya que es utilizada para consumo, producción de alimentos, limpieza y saneamiento de espacios (Camargo y Mariscal, 2012); sin embargo, la falta del líquido puede significar también un motivo de conflicto (Bocanegra, 2008). Por décadas este líquido se ha puesto en riesgo debido a la sobreexplotación y contaminación generadas por las distintas actividades económicas que mantiene cada país (Mendoza et al., 2014), lo que ha ocasionado una disminución en la cantidad y calidad del agua disponible para consumo y uso humano (Wu et al., 2015).

La contaminación de los cuerpos de agua puede presentarse de manera natural (Sepúlveda, 2009), pero también puede ser ocasionada debido a la introducción por el hombre de elementos xenofóbicos (Yang et al., 2015). Una de las formas más peligrosas de la contaminación de agua es la incorporación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) (Ziv, 2009), entre los que se encuentran el dicloro difenil tricloroetano y sus metabolitos dicloro difenil dicloroetano (DDD) y dicloro difenil dicloroetileno (DDE) (ONU Y PNUMA, 2007).

El DDD no ocurre de manera natural en el ambiente (ATSDR, 2016); no obstante, desde el año 1943 éste se ha encontrado presente debido a que es un metabolito que surge por la degradación del DDT (Venier e Hites, 2014; Gaspar et al., 2016) que fue utilizado como plaguicida desde que se sintetizó en 1939 (Turusov, Rakitsky y Tomatis, 2002). En los años 1960's se tuvo evidencia que el DDT y sus derivados eran altamente persistentes en el ambiente, tóxicos y bioacumulativos en los grandes mamíferos (Ziv, 2009; Thomas y Gohil, 2011), por lo que fue prohibido su uso en el mundo (Polanco et al., 2015; Bajwa et al., 2016).

Se ha demostrado la acumulación progresiva del DDD a través de la cadena trófica, probando que se transfiere del plancton a los peces, luego a las ranas y posteriormente a las aves (Vázquez et al., 2014; Matache, Hura y David, 2016). En el mismo sentido, diversos estudios han demostrado que una exposición al DDT y sus metabolitos, en dosis bajas y a largo plazo, pueden vincularse con efectos adversos sobre la salud humana, tales como supresión inmunológica, disrupción hormonal, disminución de la inteligencia, anomalías reproductivas, cáncer (Gupta y Ali, 2001; Cha et al., 2016), obesidad y diabetes mellitus tipo 2 (Park et al., 2014). De igual manera, en México, un estudio realizado en los estados de

Chiapas, Quintana Roo y Oaxaca, confirmó que el DDD causa apoptosis y genotoxicidad (Díaz-Barriga et al., 2004).

De los diferentes métodos que se han usado para remover contaminantes del agua, las zeolitas son una alternativa, debido a que son materiales porosos que se componen principalmente de estructuras tetraédricas tridimensionales, que se interconectan por compartición de oxígenos formando canales y cavidades bien definidos (Tschernich, 1992), tienen una amplia aplicación en campos como la agricultura, la industria o el cuidado del ambiente natural (Asgari et al., 2012; Alvarado et al., 2013) y tienen ventajas de bajo costo (Kehinde y Aziz, 2016).

De igual manera, el uso de nanopartículas ha despertado el interés de científicos, debido a que han demostrado contar con distintos usos potenciales como el de la purificación de agua (Thatai et al., 2014); algunas nanopartículas son poderosos adsorbentes, ya que los átomos de su superficie están sujetos a la combinación con átomos de otros elementos (Dastafkan et al., 2015). Sin embargo, no existe evidencia suficiente del uso de zeolitas con partículas de metales para la eliminación de compuestos orgánicos persistentes (COPs) (Xing et al., 2009).

Por lo anterior, el principal objetivo de este trabajo es contar con un material compuesto por zeolita-plata (ZN/Ag) que remueva DDD del agua, ya que ha sido relativamente poco estudiado y puede ser de gran importancia para las regiones que presentan ese problema de contaminación.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Desarrollar un material compuesto por zeolita natural y nanopartículas de plata para tratar agua contaminada con dicloro difenil dicloroetano (DDD).

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis literario del estado del arte que incluya información del uso de nanopartículas para el tratamiento de agua y de zeolitas como soporte de dichas nanopartículas, entre ellas las de plata; toxicología de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), incluido el DDD; entre otros.
- Caracterizar las nanopartículas de plata depositadas en dos muestras de zeolita natural, por medio del uso de la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).
- Determinar la cinética de adsorción de la molécula del DDD en las dos muestras de zeolita-Ag, a través de la técnica de UV-VIS.
- Evaluar la eficacia de adsorción de la molécula del DDD en las dos muestras de zeolita-Ag, ajustando a un modelo de isotermas de adsorción.

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 Problemática de acceso al agua potable

El agua es un recurso vital para cada ser humano ya que es utilizada para consumo, producción de alimentos, limpieza y saneamiento de espacios (Camargo y Mariscal, 2012); de igual manera, es empleada en actividades económicas como la agricultura, el comercio, la industria, la minería y también es requerida para la generación de energía eléctrica (IANAS, 2012). El acceso al agua representa un beneficio, no obstante, la falta del líquido puede significar un motivo de grandes conflictos entre diferentes países, o incluso, dentro del mismo país, estado, ciudad o poblado (Bocanegra, 2008); actos de perjuicio, desobediencia civil, demandas legales, manifestaciones y protestas violentas han surgido debido a las disputas que se originan por el acceso al agua potable (Campo, 2014), registrándose en dichas protestas violentas, participantes heridos y hasta fallecidos (Kramer, 2013)

La problemática de acceso al agua potable se puede presentar en muchas formas, por ejemplo: existen ciudades que enfrentan una grave escasez de agua debido al cambio climático y el crecimiento demográfico (Stoler, Tutu y Winslow, 2015); en el mundo hay más de 4 000 niños que mueren cada día por enfermedades debido a la falta de acceso al agua potable (Guerrero, 2015); el saneamiento inadecuado e higiene insegura (Kayser et al., 2015); el alto costo de la energía para el suministro de agua; el caso de ciudades con un alcantarillado y equipos obsoletos que requieren una gestión y un mantenimiento que cuestan miles de millones de dólares por año (Francis et al., 2014); y por último, pero no menos importante, el agua potable apta para el consumo humano que está disponible para ser comprada a un alto precio (IFRC, 2011).

Aunado a lo anterior existe la cifra alarmante de 780 millones de personas alrededor del mundo que presentan problemas para tener acceso a agua limpia y segura para su consumo y uso (ONU MUJERES, 2013); el Consejo Mundial del Agua (WWC, por sus siglas en inglés), ha estimado que para el año 2025, 3 billones de personas tendrán que sobrevivir con escasez de agua (Urban Urgency, 2009); actualmente casi 1.1 billones de personas no reciben agua salubre debido a que además de no contar con el acceso a ella, tampoco poseen las técnicas, equipos, máquinas e instalaciones que permitan mejorar la calidad del líquido vital contenido en los cuerpos de agua (WHO y UNICEF, 2006), y de igual manera

existe poca infraestructura para su almacenamiento, distribución y disposición (Academia Mexicana de Ciencias, 2010).

El acceso al agua potable representa un sostén esencial para el progreso de la humanidad debido a que se trata de los valores y garantías necesarios para la existencia, bienestar y desarrollo del individuo, y en consecuencia, también de la sociedad (Tello, 2008); sin embargo, el Banco Mundial (2013) muestra que dichos valores y garantías no se han otorgado a la población, ya que existe evidencia de que en Latinoamérica 32 millones de personas tienen escaso acceso al agua potable; específicamente en México, durante el período de 1950 a 2007, la disponibilidad media de agua natural por habitante disminuyó un 75%, al pasar de 18 035 a 4 312 metros cúbicos al año (INEGI, 2010); no obstante que en la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos (CEUM) se establece que “toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible” (Jacobo-Marín, 2015).

Es crucial resaltar que la sobreexplotación y la contaminación generadas por las distintas actividades económicas que mantiene cada país (Mendoza et al., 2014), han puesto en constante riesgo este recurso, ocasionando una disminución en la cantidad y calidad del agua disponible para consumo y uso humano (Wu et al., 2015). Según la Organización Panamericana de la Salud (2011), a tal hecho le ha secundado la reacción de la población, manifestando la repercusión que esto ha tenido ambiental, económica y socialmente; siendo este último rubro el de mayor preocupación, ya que son los ciudadanos que viven en extrema pobreza los más afectados, debido a que carecen de acceso a agua limpia y, asimismo, del cuidado de su salud, al no tener atenciones hospitalarias en caso de adquirir alguna enfermedad por consumir agua contaminada (Aziz, Khalifa y Sharaf, 2015).

4.2 Problemas de la contaminación del agua por Contaminantes Orgánicos Persistentes (Dicloro difenil dicloroetano “DDD”)

La contaminación de los cuerpos de agua algunas veces se presenta de manera natural (Sepúlveda, 2009), pero también puede ser ocasionada de forma antropogénica debido a la introducción por el hombre de elementos que no forman parte o no son producto de los seres vivos (Yang et al., 2015); estos contaminantes introducidos por el hombre son los que pueden causar mayor daño y toxicidad al medio ambiente, sobre todo al agua, cuando

exceden su concentración límite permisible, lo que impide el uso favorecedor del recurso hídrico (Becerril, 2009).

Una de las formas más peligrosas y preocupantes de la contaminación de agua es la incorporación de los COPs¹ (Ziv, 2009), conjunto de compuestos químicos que resisten en distintos niveles la degradación, lo que provoca que cada uno de ellos deba ser tratado de modo particular para su reducción y eliminación (Domene, 2012), y de los cuales existen los siguientes como prioritarios: aldrín, clordano, dicloro difenil tricloroetano (DDT) y sus metabolitos dicloro difenil dicloroetano (DDD) y dicloro difenil dicloroetileno (DDE), dieldrín, endrín, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, policlorobifenilos, dioxinas y furanos. Dichos compuestos se encuentran contenidos en sustancias de uso común en el hogar, el comercio y la industria, como por ejemplo en: insecticidas, raticidas, fungicidas, aislantes, adhesivos, retardantes, resinas y blanqueadores (ONU y PNUMA, 2007).

En lo concerniente particularmente al DDD, es crucial mencionar que se ha encontrado presente en el ambiente desde el año de 1939 debido a que es una sustancia que surge por la degradación del DDT (Venier e Hites 2014), plaguicida que fue usado extensamente en el pasado para controlar insectos en cosechas agrícolas e insectos portadores de enfermedades tales como la malaria y el tifus (Fiorini et al. 2008); aunque el DDD también fue utilizado como plaguicida, el periodo de su aplicación no fue tan prolongado, por lo que su permanencia y perjuicio al ambiente y a la salud, están más relacionados con el proceso de degradación mencionado (Gaspar et al. 2016).

El uso del DDD, como el resto de los plaguicidas organoclorados, fue prohibido entre las décadas de los 60s y 70s (Bajwa et al. 2016); sin embargo, estas sustancias siguen siendo utilizadas en la agricultura y en programas para el control de la salud debido a su bajo costo y efectividad (Zhou et al. 2013). Estos pesticidas son ampliamente reconocidos por su toxicidad, persistencia y bioacumulación, y son propensos a transportarse con un largo

¹ Según el INECC (2013), los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) son sustancias persistentes, bioacumulables y de fácil transportación en los cuerpos de agua y la atmósfera; los COPS se han definido como una subclase de las Sustancias Tóxicas Bioacumulables (PBTs), ya que sus características de toxicidad las hace capaces de ocasionar efectos adversos a la salud o al ambiente.

alcance (Lohman et al. 2007); un hecho crucial que fue útil para aseverar dicha bioacumulación, fue el experimento realizado por los investigadores E.G. Hunt y A.I. Bischoff en 1960, quienes fueron los primeros en demostrar la acumulación progresiva del DDD a través de la cadena trófica, probando que se transfería del plancton a los peces, luego a las ranas y posteriormente a las aves, aun cuando no se encontraba cantidad alguna del pesticida en el agua (Vázquez et al. 2014).

En definitiva, distintos contaminantes han afectado el agua durante décadas, pero los más peligrosos y perjudiciales son los pesticidas como el DDD (Gupta y Ali 2001); ya que a pesar de que el suelo mantiene la función de un filtro que almacena estos contaminantes (Weiss, LeFevre y Gulliver 2008), las sustancias contenidas en los pesticidas llegan a las aguas subterráneas, ríos, lagos y mares, convirtiendo al agua en una fuente de contaminación (Qiu et al. 2004).

Diversos estudios son los que han probado la toxicidad del DDD al demostrar que una exposición a dosis bajas y a largo plazo, puede estar vinculada con efectos adversos sobre la salud humana, tales como supresión inmunológica, disrupción hormonal, disminución de la inteligencia, anomalías reproductivas y cáncer (Cha et al. 2016), pero además, esta sustancia ha sido asociada con la obesidad y la diabetes mellitus tipo 2 (Park et al. 2014).

Lo descrito anteriormente comprueba que, a pesar de que los plaguicidas como el DDD han sido prohibidos en México y el mundo (Polanco et al. 2015), el compuesto sigue presente en los cuerpos de agua y en seres que viven en ella o que tienen acceso a ella (Tsygankov y Boyarova 2015); por tales razones, el DDD está incluido en la lista de compuestos controlados de la Agencia de Protección al Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) de Canadá y Estados Unidos (McGoldrick y Murphy, 2016); y en países como Rumania se han realizado investigaciones con el fin de conocer y supervisar las concentraciones de DDD contenidas en aves para tomar también las medidas de control necesarias (Matache et al., 2016).

4.3 Regulación legal para los COPs (DDD)

La importancia de establecer la regulación legal para los Compuestos Orgánicos Persistentes a nivel global, radica en la necesidad de salvaguardar la salud humana del riesgo que ésta tiene a través de la ingesta dietética, la inhalación, la absorción dérmica y

la exposición ocupacional (Lonati et al., 2007), así como de la transferencia prenatal de la madre al feto por las concentraciones de dichos compuestos que se encuentran en el aire, suelo y agua (Nakano et al., 2005); de igual manera, dicha importancia reside en la protección de la integridad del medioambiente debido a la descarga de las sustancias mencionadas en cantidades de las que el ecosistema no se puede recuperar de manera natural (Walker, MacAskill y Weaver, 2013). Es vital entonces para cada gobierno evaluar el estado actual de los COPs en su país, valorar los riesgos tanto en la salud humana como en los ecosistemas y desarrollar una vigilancia eficaz a través de la legislación pertinente para los compuestos mencionados, así como para los que se van asignando a la lista de los COPs prioritarios por las características que poseen (Lau et al., 2012).

Los esfuerzos para lograr la regulación legal de los COPs iniciaron el 23 de mayo de 2001 cuando se firmó en Suecia el Convenio de Estocolmo, en donde más de 100 países acordaron unir esfuerzos para prohibir o minimizar el uso de las sustancias consideradas como COPs (Kim et al., 2014); a través de la promoción de mejores prácticas y tecnologías disponibles para reemplazar a dichos contaminantes, y también por medio del fortalecimiento de leyes, normatividad y demás procedimientos, ya que esto puede facilitar al gobierno de cada país el cumplimiento de los deberes establecidos (PNUMA, 2005); no obstante los compromisos plasmados en el Convenio de Estocolmo, fue hasta el 17 de mayo de 2004 que este acuerdo entró en vigor y estuvo en posibilidad de promover la acción global de impedir o reducir la producción y utilización de estos compuestos (UNEP, 2010).

Sin embargo, a pesar de las acciones derivadas del Convenio mencionado, que entraron en vigor en el año 2004 para reestructurar la legislación de los COPs (Xu, Wang y Cai, 2013), países que conforman la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), entre los que se encuentra México (FAO, 2009), reconocen que el resultado tan esperado no se ha dado, lo que ha ocasionado que legisladores, investigadores y organizaciones muestren mayor interés en atender lo que sea necesario para lograr la regulación de dichas sustancias (Ewence et al., 2015).

Cabe hacer mención de que la falta de resultados se ha presentado principalmente en los países que se encuentran en vías de desarrollo, en donde se reconoce que las leyes carecen de efectividad para proteger el medioambiente y la salud humana (Sharma et al., 2014); en donde también se ha resaltado la falta de conocimiento que existe por parte de

la población (Brink, Van Vuren y Bornman, 2012), y en donde se ha registrado la carga corporal de estos compuestos (Arrebola et al., 2012), resultando todo lo anterior en una mayor susceptibilidad para adquirir enfermedades graves como el cáncer y defectos congénitos en la descendencia (Elvira, 2007).

Un ejemplo particular, es el relacionado con la regulación legal de los COPs que se encuentran contenidos en el agua para consumo humano, en donde la Unión Europea ha sido un punto de referencia para países del resto del mundo debido a que sus valores son de los más estrictos a nivel global (Julshamn et al., 2015), esto gracias a la implementación del “Séptimo Programa de Acción en materia de Medio Ambiente” (Unión Europea, 2015). Igualmente en México se han estado tomando medidas para el control de los COPs en el líquido vital, principalmente a través del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo en el año 2007 (SEMARNAT, 2007), la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (Ángeles, 2009) y la Ley Nacional de Aguas (Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM, 2015); lo que ha sido útil para el país, ya que participa en una iniciativa tri-nacional con E.U.A y Canadá para el monitoreo de dichos contaminantes (Adlard et al., 2014).

Sin embargo, aunque E.U.A. pertenece a esta iniciativa y cuenta con la EPA para proteger la salud de los humanos y el medio ambiente (Ingber et al., 2013), así como con el Congreso para emitir la legislación requerida sobre algún asunto de salud pública o ambiental (EPA, 2014); según Hansen y colaboradores (2013), en este país se han establecido límites máximos de COPs en el agua para consumo humano que tienden a ser permisibles, e incluso, son superiores a los de México, a los de la Unión Europea y a los de la Organización Mundial de la salud (OMS).

En lo que respecta a Canadá, uno de los instrumentos legales con los que cuenta para la regulación de los COPs contenidos en el agua para consumo humano es la Ley Canadiense sobre Evaluación Ambiental; sin embargo cada provincia tiene su propia legislación y, sólo cuando la Corte lo considera necesario, el gobierno federal puede tener intromisión en cada una de ellas, lo que puede dificultar el establecimiento de las medidas de control sobre dichos compuestos (Borrego, 2006); en el caso de China, un país fabricante y exportador de los COPs por excelencia, participa la Administración Estatal de Protección Ambiental (State Environmental Protection Administration, en inglés), entre otros departamentos (Wei,

Kameya y Urano, 2007), para el desarrollo de un marco legal moderno que cuente con especificaciones para el control y manejo de los compuestos mencionados, y que también considere la supervisión del acatamiento de los límites máximos de los COPs en el agua para consumo humano (Zhang et al., 2005).

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) continua ofreciendo su mayor esfuerzo y apoyo al fungir como la autoridad directiva y coordinadora en el sistema de las Naciones Unidas (OMS, 2015), para que las responsabilidades adquiridas por los países a través de la firma del Convenio de Estocolmo, sean cumplidas y, para que a su vez, los resultados deseados sean alcanzados (Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2011); lo anterior debido a que la legislación existente en cada país se ha ignorado y esto ha traído consigo resultados pobres en cuanto al cuidado del medioambiente y la salud humana, pero además, en lo referente a la calidad del recurso hídrico (Duhec et al., 2015).

Algunos estudios han sido realizados para determinar el potencial de diferentes métodos de tratamiento de agua en la remoción de contaminantes, y así estar en posibilidad de cuidar la calidad del agua (Bolong et al., 2009); sin embargo, no todos los tratamientos aseguran su efectividad para remover algunos contaminantes que causan efectos adversos en el recurso hídrico, especialmente tratándose de los orgánicos (Murphy, McBean y Farahbakhsh, 2009).

4.4 Aplicaciones de vanguardia en el tratamiento de agua

Para estar en posibilidad de utilizar de manera segura el agua para consumo humano, así como para el desarrollo de actividades domésticas, comerciales, agrícolas, ganaderas e industriales, en la última década varios países han iniciado programas de investigación con el objetivo de desarrollar aparatos de tecnología avanzada (Spiller et al., 2015); tal es el caso de Raj, Prasad y Barsal (2006) quienes mencionan que en India se han desarrollado varios dispositivos que cumplen con el objetivo de lograr el saneamiento del líquido vital, pero además, les han agregado la capacidad de ser manipulados a control remoto para facilitar su operación y mantenimiento. De igual manera para Uganda, Katukiza et al. (2014) diseñaron filtros que satisfacen la necesidad del tratamiento de agua a base de roca proveniente de lava, y aunque no cuentan con aditamentos tecnológicos, su función la llevan a cabo excelentemente bien al retirar tan solo con esos componentes bacterias, fósforo, nitrógeno y metales pesados del recurso hídrico.

En el caso de Dinamarca, que es un país en donde no se utilizan desinfectantes en los procesos para tratar el agua, así como tampoco se usan en los sistemas para su distribución, algunos investigadores diseñaron filtros de arena que combinados con procesos biológicos, han sido útiles en la remoción de materia orgánica y amonio del líquido (Lee et al., 2014); otro país ejemplo en el desarrollo de sistemas para dar tratamiento al agua es Brasil, ya que algunos investigadores fabricaron un filtro con poliestireno granulado para mejorar la calidad, apariencia y color del líquido, así como para disminuir su turbiedad (Schönlag et al., 2015); otra muestra es Austria, en donde se han implementado técnicas de filtración e infiltración que permiten manejar de forma efectiva grandes volúmenes de agua (Kandra et al., 2014).

En lo que respecta a China, investigadores han recurrido a la aplicación de nanopartículas para adsorber el contaminante Bisfenol-A que se encuentra presente en el agua, pero en este caso a través del uso de la matriz de un polímero; además de lograr la adsorción del contaminante, los científicos recomiendan ampliamente el uso del dispositivo para obtener la detección y eliminación de otras sustancias dañinas en el líquido (Wang et al., 2014); en ese mismo país se creó también un material compuesto de matriz en aerogel de carbón, que resultó ser un excelente adsorbente de contaminantes orgánicos (Wu y Jia, 2014); por otro lado, en Suecia, la remoción de arsénico fue investigada a través de la utilización de nanopartículas de aluminio situadas en criogel, siendo esta última sustancia útil para evitar la dispersión del nanomaterial en el agua, y lo más importante, para lograr el objetivo de tratar el agua sin dañar su calidad, al quedarse las nanopartículas en el criogel y no en el líquido vital (Önnby et al., 2012).

Otro ejemplo de los avances para en el tratamiento de agua es Irán, en donde científicos iniciaron un estudio relacionado con membranas de nanocompuestos que por su estructura amorfa, es capaz de retener los contaminantes en ella (Rakhshan y Pakizehm, 2015); por otra parte y considerando también la importancia de que la técnica recuperadora del recurso hídrico sea económica, en Nueva Zelanda se ha apostado a una matriz conformada por suelo, a través de la que pretenden adsorber y degradar algunos de los pesticidas contaminantes (Aslam et al., 2009). En lo que respecta a Italia, también se han tomado medidas para el saneamiento del agua, en donde se evaluaron las propiedades de la unión de nanopartículas de titania con la superficie de una piedra caliza con la finalidad de promover los procesos de degradación de contaminantes y las acciones de restauración

del agua (Munafó et al., 2014); constatando que la combinación de estos materiales es innovadora y puede purificar el recurso hídrico (Quagliarini et al., 2012).

Por otra parte, en Shanghai se está ideando un método alternativo para la eliminación segura de DDD (Jürgens et al., 2016), a través de una unidad piloto de nanofiltración que se ha considerado como una tecnología altamente promisorio; no obstante, esta tecnología presenta la desventaja de mantener un alto costo de fabricación (Pang et al., 2010), y además de presentar ese inconveniente, también se debe asegurar que al hacer uso de las nanopartículas en el tratamiento de aguas residuales no se ocasionará un perjuicio, ya que su tamaño es tan difícil de ser manejado por el ecosistema y el cuerpo humano, que se ha despertado incertidumbre en cuanto a su toxicidad y seguridad (Tang y Lo, 2013).

A pesar de la cantidad de técnicas para ofrecer un tratamiento al agua y volverla consumible y utilizable por el hombre (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012), no existe información amplia sobre el uso de algún compuesto a base de matrices de minerales y nanopartículas de metales para la eliminación de DDD, así como de otros Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) contenidos en el líquido vital (Xing et al., 2009); sin embargo, se inician cuando menos los esfuerzos por detectar la presencia de estas sustancias tóxicas en el agua, y así analizar su comportamiento, con el objetivo de proponer las técnicas necesarias para que dichas sustancias consideradas como COPs, puedan ser eliminadas, o cuando menos, reducidas (Li et al., 2014).

4.5 Uso de nanopartículas y zeolita

El uso de las nanopartículas ha despertado el interés de los científicos debido a la diversidad de sus aplicaciones, lo que se explica tomando en cuenta que una de sus tres dimensiones se encuentra entre 1 y 100 nm (Mohanraj y Chen, 2006); debido a sus propiedades, que son tan diferentes a las de su material en masa, han demostrado contar con distintos usos potenciales, tales como los biológicos y los químicos, y muy particularmente en el relacionado con la purificación de agua (Thatai et al., 2014); algunas nanopartículas son poderosos adsorbentes, ya que los átomos de su superficie están sujetos a la combinación con átomos de otros elementos (Dastafkan et al., 2015); este tipo de interacción ofrece la posibilidad de mezclar diferentes materiales y fabricar nanoestructuras con propiedades mejoradas (Lavorato et al., 2015).

Tratando muy específicamente lo que respecta a las nanopartículas metálicas, es significativo comentar que han sido un punto de exploración intensiva (Shukla et al., 2015); este tipo de nanopartículas son consideradas como las más estables debido a que su inercia química y resistencia superficial, los vuelve un material de gran importancia para ser aplicado en diversos dispositivos (Oliveira et al., 2015); ha sido mucho el esfuerzo que se ha dedicado para sintetizar estas pequeñas partículas a través de métodos físicos, químicos y biológicos (Logeswari, Silambarasan y Abraham, 2015), y es gracias a esto que se ha podido apreciar en ellos propiedades tales como: alta reactividad, selectividad, autoensamblaje, dispersabilidad y bajo costo (Rajan et al., 2015).

En lo relacionado con las zeolitas, en 1758, el sueco Alex Frederik Cronstedt, introdujo la clasificación del mineral, así como el término del mismo (Masters y Maschmeyer, 2011), y tomando en cuenta las investigaciones que han transcurrido al pasar de los siglos, a la fecha se puede decir que existen aproximadamente 40 zeolitas naturales conocidas, entre las que se encuentran la chabazita y la clinoptilolita, mismas que cuentan con una estructura especial que las hace capaces de tener distintas aplicaciones específicas (Lopes et al., 2015), dentro de las cuales se encuentra la remoción de compuestos orgánicos, hecho que ha impactado a investigadores alrededor del mundo (Pierella et al., 2008).

En los últimos años, se ha demostrado que este mineral puede fungir como excelente catalítico, adsorbente y membrana (Yeung y Han, 2014), debido a que consta de un material microporoso (diámetro de poro menor a 2 nm), constituido principalmente por átomos de Si y Al cada uno, los que están unidos en forma tetraédrica a los átomos de O (Corona et al., 2009); dicha microporosidad provee al mineral el espacio de confinamiento y la fuente de interacción para el soporte de nanopartículas con alta dispersión (Chu et al., 2013).

Al igual que las nanopartículas, la zeolita ha atraído la atención por sus múltiples aplicaciones al mostrar gran capacidad en el intercambio de iones, la separación de gas y solventes y la remoción de contaminantes (Nosrati, Olad y Nofouzki, 2015); adicionalmente a estos atributos, la seguridad, operación simple, mantenimiento y emisión de cationes no tóxicos, hacen a este mineral una alternativa atractiva para utilizarse en la resolución de varios problemas ambientales (Guaya et al., 2015); otra ventaja que muestra este mineral es que es un material barato y que se encuentra ampliamente disponible en todo el mundo (Pepe et al., 2013).

Algo trascendental dentro del estudio de materiales compuestos es lo que Mehdizadeh y colaboradores (2014) lograron al investigar el potencial de adsorción de nanopartículas de platino en zeolita natural, demostrando la efectividad en la remoción de metales pesados gracias al aprovechamiento de las propiedades que surgen por la unión de ambos materiales; y algo aún más enriquecedor es el resultado que se obtuvo a través de una investigación reciente que trata también acerca del uso de zeolita natural para el tratamiento de agua con alto contenido de sustancias químicas (Kehinde y Aziz, 2016).

Con esta premisa, se puede contar ahora con la posibilidad de limpiar el agua sin perjudicar su calidad debido a que el funcionamiento de la zeolita no tiene repercusiones en el ambiente y en la salud humana (Liu et al., 2011); a diferencia de filtros que han sido utilizados para la limpieza de agua, y han dado problemas de funcionalidad debido a que los contaminantes que se van capturando en las unidades de purificación requieren ser retirados (McCormick, Porter y Walsh, 2010); lo que ha tenido que atenderse con eficacia ya que de lo contrario el filtro puede liberar los contaminantes en el agua y eso se resume en obtener un resultado opuesto al deseado (Yang et al., 2009).

4.6 Técnicas de caracterización para el análisis de nanopartículas soportadas en zeolitas

Resulta claro que las investigaciones que tienen que ver con el uso de nanopartículas (Heiligtag y Niederberger, 2013) y zeolitas (Vittenet et al., 2014) para eliminar contaminantes del agua, están relacionadas muy estrechamente con el desarrollo y la aplicación de nuevas técnicas analíticas y métodos modernos para la búsqueda de información (Van Phu et al., 2013); sin embargo, para aplicar estas técnicas y métodos, es necesario mantener el control sobre el material y el ambiente al que el primero estará expuesto, para que de esta forma sea posible conocer la evolución de dicho material al ser sometido a los distintos procesos que su investigación demande (Zaborowski et al., 2006).

De igual manera, las técnicas que se seleccionen como soporte para la medición de las características del material deben ser entendibles, concisas y rápidas para que la investigación no se vea malograda (Aichele et al., 2015); en particular la rapidez requerida tiene que ver con el hecho de que aquellos métodos de evaluación que utilizan electrones pueden dañar la estructura cristalina de la zeolita, entonces, las imágenes deben obtenerse antes de que suceda el daño (Xu et al., 2015); una vez que se obtengan los datos de la

caracterización, es de gran importancia realizar los análisis correspondientes de manera objetiva con la finalidad de no afectar los resultados de la investigación (Torres y Mora, 2010).

Entre las técnicas más utilizadas para lograr la visualización de la superficie de materiales destaca la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), la cual ofrece realizar estudios de los aspectos morfológicos y de zonas microscópicas para los distintos materiales que se trabajan, gracias a que mantiene una alta resolución (~1 nm) (Ledea et al., 2010); sin embargo, es necesaria su combinación con alguna otra técnica para poder complementar los resultados obtenidos; en este caso, la Espectrometría por Dispersión de rayos X (EDX) es una buena opción debido a que mantiene la capacidad de determinar la concentración de cada uno de los componentes del material, así como el contenido del intercambio iónico y análisis elemental (cualitativo y semicuantitativo) (Abrishamkar e Izadi, 2013). Además, existen descubrimientos recientes en donde el diseño de la óptica electrónica y del detector de rayos X ha facilitado el trazo de mapas para la EDX, que en el caso de las nanopartículas es crítico debido a su arreglo estructural y distribución (Chen et al., 2015).

Otra ventaja que presentan las técnicas de MEB y EDX es que son de un costo relativamente bajo comparadas con otras como: Emisión de rayos X por partículas inducidas (Micro-PIXE por sus siglas en inglés), Espectroscopía de Masas por ion secundario (SIMS por sus siglas en inglés), Espectroscopía de Masas por Abrasión Láser Inductivamente Acoplado a Plasma (LAICP-MS por sus siglas en inglés) (Melgarejo et al., 2010); al respecto ha despertado tanto interés el desempeño de MEB en los últimos 20 años, que diversos grupos de investigación interdisciplinarios alrededor del mundo se han concentrado en la exploración de mejoras tecnológicas y nuevas aplicaciones, así como en el desarrollo de metodologías que arrojen información cualitativa cada vez más precisa (Meeks et al., 2012); es debido a este desarrollo continuo que la técnica de MEB es tan atractiva para la caracterización a nanoescala (Lee et al., 2015).

Es entonces que ambas técnicas pueden ser usadas de manera conjunta para realizar las mediciones que son requeridas en las investigaciones, ya que la suma de sus capacidades y ventajas le otorgan mejorías al proceso de caracterización (Worobiec et al., 2010); muestra de esto es que Deravanesiyan, Beheshti y Malekpour (2015), caracterizaron nanopartículas de aluminio en gránulos de zeolita para la remoción de Cromo y Cobalto, y

lo llevaron a cabo a través de MEB y EDX, de lo que se obtuvieron excelentes resultados; proceso en el que la primera técnica evitó que los componentes del material fueran dañados (Hajji et al., 2015).

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El presente es un proyecto de investigación cuantitativo, el cual tiene sus bases en un proceso que consiste en: a) llevar a cabo la observación y evaluación de algún fenómeno en particular; b) establecer hipótesis como consecuencia de la observación y evaluación planteadas; c) probar y demostrar el grado en que dichas hipótesis tienen fundamento; d) revisar las hipótesis con respecto a las pruebas y/o experimentos realizados, así como del análisis de los resultados; y e) proponer nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar o cimentar las hipótesis; o incluso, para generar otras.

5.2 Diseño metodológico

El diseño utilizado en esta tesis es experimental y constó de seis fases, las cuales son presentadas en la figura 1.



Figura 1. Diseño de la metodología.

Fuente: elaboración propia

A continuación se detallan los procesos llevados a cabo en cada una de las fases que complementan la metodología:

Fase I.

Se llevó a cabo la obtención y preparación de las muestras de zeolita natural (ZN) iniciando con la obtención en campo, Divisaderos y Ures, Sonora respectivamente, de 0.8 Kg. de chabazita (ZNCH) y 0.8 Kg. de clinoptilolita (ZNCL), cantidad suficiente para realizar los análisis de caracterización, cinéticas e isotermas.

Fase II.

En el laboratorio, se procedió a limpiar la suciedad superficial del mineral y se realizó la trituración de ambas zeolitas en una trituradora de acero para después ser molidas en un mortero de porcelana; posteriormente, las muestras molidas se colocaron en tamices de 30 y 40, de acuerdo con las medidas establecidas en el U.S. Standard, para tomar los granos resultantes del proceso de tamización para obtener una medida de grano entre los 0.425 y 0.600 mm; ambas muestras fueron lavadas con agua desionizada y fueron también secadas en una estufa Shellab, modelo 1445, a una temperatura de 40 °C durante 24 horas. Se lavaron 2 frascos de vidrio con jabón y se enjuagaron 8 veces, las primeras cuatro con agua potable y las siguientes cuatro con agua destilada, para contener los granos resultantes de la tamización para ZNCH, cuyo color es café claro, y de la misma manera, para ZNCL, a la que corresponde un color gris claro.

Subsiguientemente, se lavaron 6 frascos de vidrio con jabón y se enjuagaron 10 veces, las primeras cuatro con agua potable, las siguientes cuatro con agua destilada y las últimas dos con agua desionizada; se dejaron secar por completo para proceder con la preparación. Se pesaron las muestras ZNCH y ZNCL, y se tomaron 9 gr. de la primera para colocar 3 gr. en tres frascos y 9 gr. de la segunda para el mismo fin. Así mismo se tomaron 6 muestras de Ag NO₃ (con un 99% de pureza, sustancia que fue proporcionada por la compañía Sigma–Aldrich), para proceder de la siguiente manera: 2 muestras al 1% de Ag NO₃ (0.0482 g), una correspondiente a ZNCH y otra a la ZNCL; 2 muestras al 2% de Ag NO₃ (0.0973 g), una para la ZNCH y otra para la ZNCL; y 2 muestras al 3% Ag NO₃ (0.1476 g), una correspondiente a la ZNCH y otra a la ZNCL. Lo anterior con el propósito de tener seis frascos en total divididos en dos grupo: tres de ellos con 3 g de chabazita cada uno (el primero con 0.0482 g de Ag NO₃, el segundo con 0.0973 g de Ag NO₃, y el último con 0.1476 g de Ag NO₃); y tres para contener 3 g de clinoptilolita cada uno (el primero con 0.0482 g de Ag NO₃, el segundo con 0.0973 g de Ag NO₃, y el último con 0.1476 g de Ag NO₃).

Fase III

Por otra parte, se vertió 30 ml. de agua desionizada en cada uno de los seis frascos mencionados en el párrafo anterior, resultando lo que se detalla a continuación: **MUESTRA 1 ZNCH1%Ag.**, con 30 ml. de agua desionizada, 3 g de chabazita y 0.0482 g de Ag NO₃; **MUESTRA 2 ZNCH2%Ag.**, con 30 ml. de agua desionizada, 3 g de chabazita y 0.0973 g de Ag NO₃; **MUESTRA 3 ZNCH3%Ag.**, con 30 ml. de agua desionizada, 3 g de chabazita y 0.1476 g de Ag NO₃; **MUESTRA 4 ZNCL1%Ag.**, con 30 ml. de agua desionizada, 3 g de clinoptilolita y 0.0482 g de Ag NO₃; **MUESTRA 5 ZNCL2%Ag.**, con 30 ml. de agua desionizada, 3 g de clinoptilolita y 0.0973 g de Ag NO₃; y **MUESTRA 6 ZNCL3%Ag.**, con 30 ml. de agua desionizada, 3 g de clinoptilolita y 0.1476 g de Ag NO₃.

Se colocaron los frascos en baño en un equipo LabTech, modelo LSB0305, a una velocidad de 100 rpm, a una temperatura de 60 °C y durante un tiempo de 8 horas, para obtener el intercambio iónico; después se colocaron las muestras en charolas de aluminio y se secaron en una estufa Shellab, modelo 1445, a una temperatura de 40 °C, durante un tiempo de 24 horas.

Fase IV

En la tabla 1 se muestran las pruebas experimentales realizadas para las pruebas cinéticas e isotermas.

Tabla 1. Matriz de experimentos realizados para pruebas cinéticas e isotermas.

	TIPO	ESTADO	TEMPERATURAS		
			25 °C	35 °C	45 °C
ZEOLITAS	CHABAZITA	N	X	X	X
		1% Ag	X	X	X
		2% Ag	X	X	X
		3% Ag	X	X	X
	CLINOPTILOLITA	N	X	X	X
		1% Ag	X	X	X
		2% Ag	X	X	X
		3% Ag	X	X	X

Fuente: elaboración propia

Donde las letras y abreviaturas para describir el “estado” de ambas zeolitas, chabazita y clinoptilolita significan lo siguiente:

N: la zeolita en su condición natural.

1%Ag: la modificación de la zeolita con el 1% de Ag.

2%Ag: la modificación de la zeolita con el 2% de Ag.

3%Ag: la modificación de la zeolita con el 3% de Ag.

Fase V

Los datos que corresponden a esta fase, se abordarán en el capítulo VI, titulado “Resultados”.

Fase VI

La información que concierne a esta parte de la metodología, se tratará en el capítulo VII, el cual es denominado “Discusión”.

5.3 Alcance

La obtención de un material de zeolita natural y nanopartículas de plata (ZN/Ag), para tratar agua contaminada DDD; en el periodo de enero 2015 a diciembre de 2016.

5.4 Hipótesis

Ho: El material ZN/Ag adsorberá la molécula del DDD contenida en el agua.

Ha: El material ZN/Ag no adsorberá la molécula del DDD contenida en agua.

5.5 Objeto de estudio

La adsorción de la molécula del DDD en agua, a través de la aplicación del material ZN/Ag.

5.6 Selección y tamaño de muestra

El muestreo se realizó por conveniencia, ya que se consideraron los siguientes criterios:

- 1) identificación en la literatura;
- 2) experiencia del investigador; y
- 3) factibilidad y viabilidad de la información que arroje la muestra.

5.7 Instrumentos de recolección y manejo de datos

La recolección de datos se llevó a cabo a través de las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos x (EDX), y UV-VIS. El manejo y presentación de los datos se manipuló a través del software Excel y las gráficas se hicieron con Origin 8.

VI. RESULTADOS

En este apartado se presentan los datos obtenidos a partir del seguimiento otorgado a los objetivos específicos previamente descritos.

6.1 Elaboración de análisis literario.

En la tabla 2 se presenta la clasificación de las referencias utilizadas para el presente documento, en donde la clasificación más sobresaliente corresponde a la consulta realizada en Journals.

Tabla 2. Clasificación de referencias.

Clasificación de las referencias	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003 o más	TOTAL
Journals.	1	7	27	16	12	9	3	6	6	8	5	3	5	3	9	120
Artículos en revistas universitarias.						1			1							2
Artículos en académicas de ciencias.						1	1								3	5
Artículos universitarios en línea.			3						2	1						6
Journals electrónicos.			1													1
Artículos en revistas mexicanas.				2	1	2		2	1			1				9
Artículos en revistas latinas.							1	1							1	3
Artículos en PDF.			1		1		2		1	1	3	1	1	1	1	13
Artículos en línea.		1	2	2	2	1	1	1	1							11
Tesis de doctorado.				1												1
TOTAL GENERAL																171

Fuente: elaboración propia

6.2 Caracterización física y química de las muestras ZNCH, ZNCL, ZNCH3%Ag y ZNCL3%Ag

Con el propósito de conocer las propiedades morfológicas y composición química de las muestras ZNCH, ZNCL, ZNCH3%Ag y ZNCL3%Ag, se llevó a cabo un análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) marca JEOL, modelo JSM-5410LV, al que se encuentra adaptado un sistema de microanálisis de rayos x dispersivo en energía (EDX); para dicho análisis, se colocaron las muestras en charolas de aluminio con cinta de carbón doble adhesiva y se recubrieron con oro en una atmósfera de argón.

La figura 2 exhibe la micrografía de la muestra ZNCH, y la figura 3 revela la que corresponde a la muestra ZNCL. De la misma manera en las figuras 4 y 5 se aprecia el espectro de energía dispersiva de electrones, que permite conocer los elementos que conforman las muestras ZNCH3%Ag y ZNCL3%Ag y sus porcentajes; las tablas 3 y 4 presentan de manera concisa a cada uno de los elementos con el porcentaje que le corresponde.

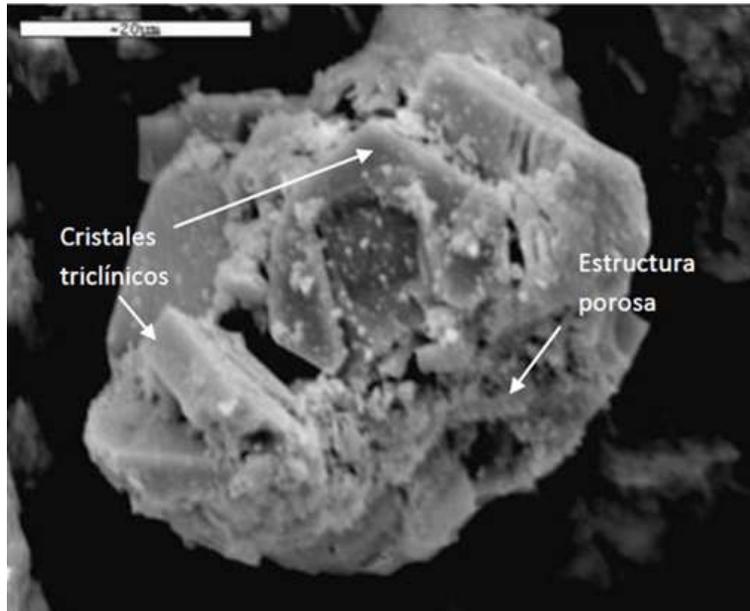


Figura 2. Micrografía de la muestra ZNCH.
Fuente: Alvarado, 2014.

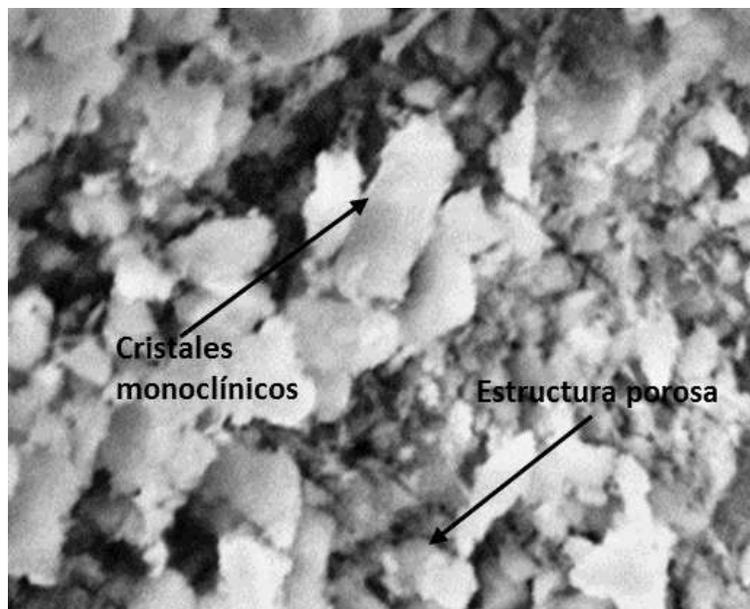


Figura 3. Micrografía de la muestra ZNCL.
Fuente: elaboración propia.

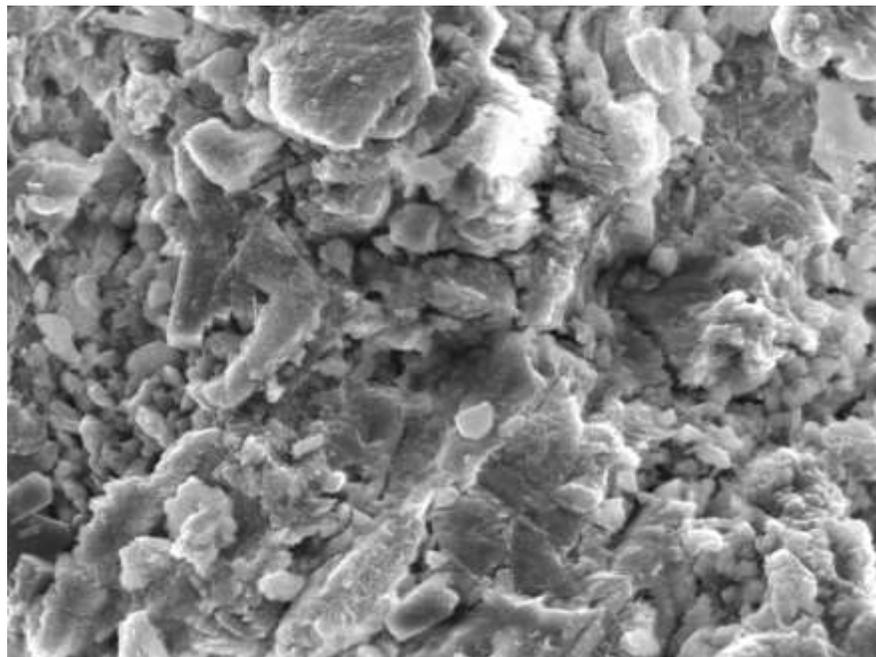


Figura 4. Micrografía de la muestra ZNCH3%Ag.
Fuente: Elaboración propia.

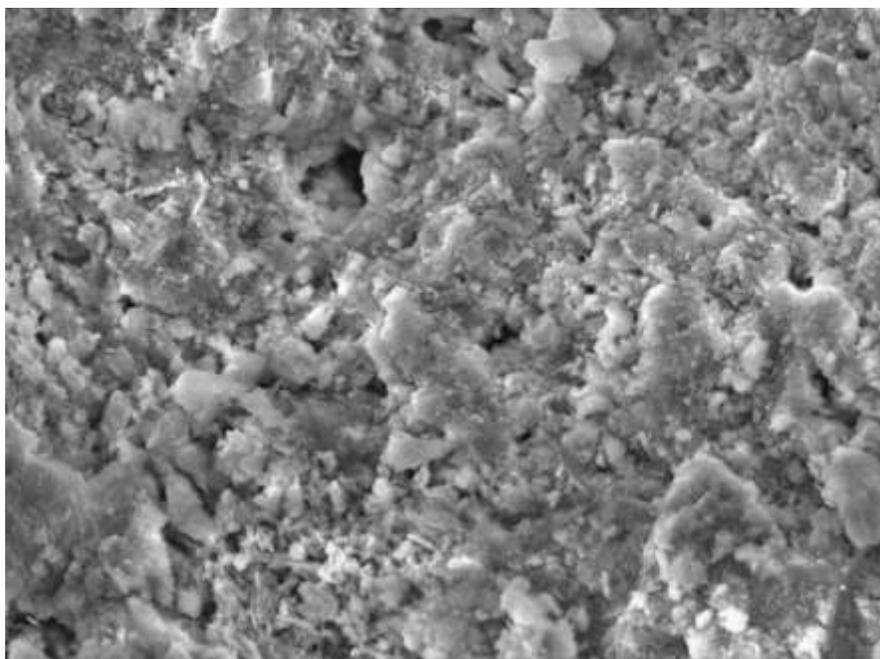


Figura 5. Micrografía de la muestra ZNCL3%Ag.
Fuente: Elaboración propia.

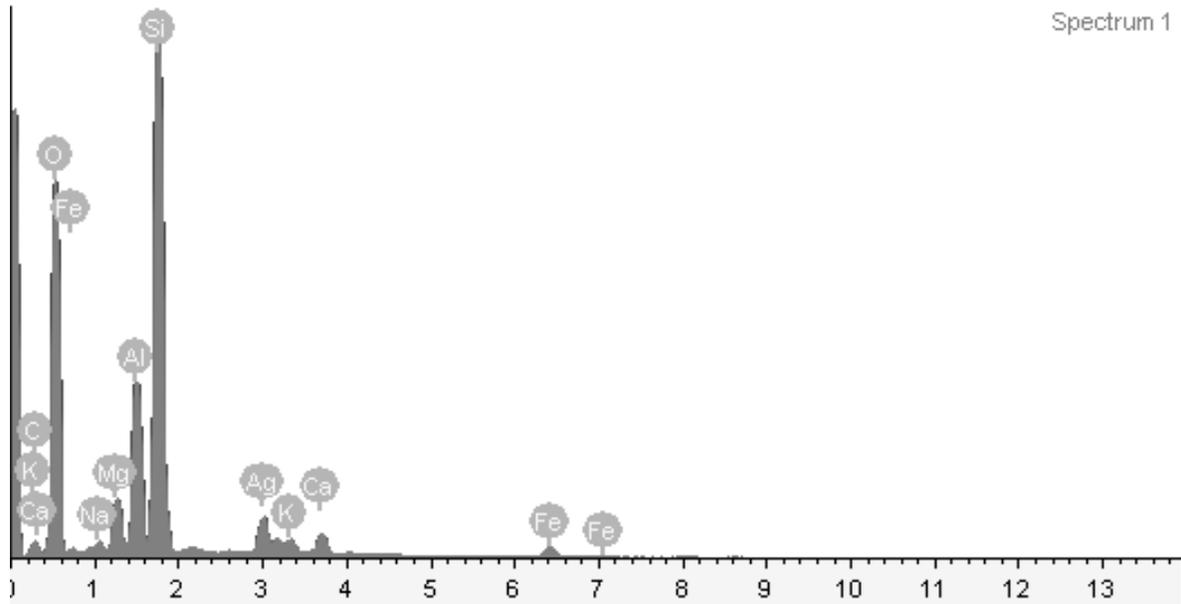


Figura 6. Espectro de la muestra ZNCH3%Ag.
Fuente: Elaboración propia.

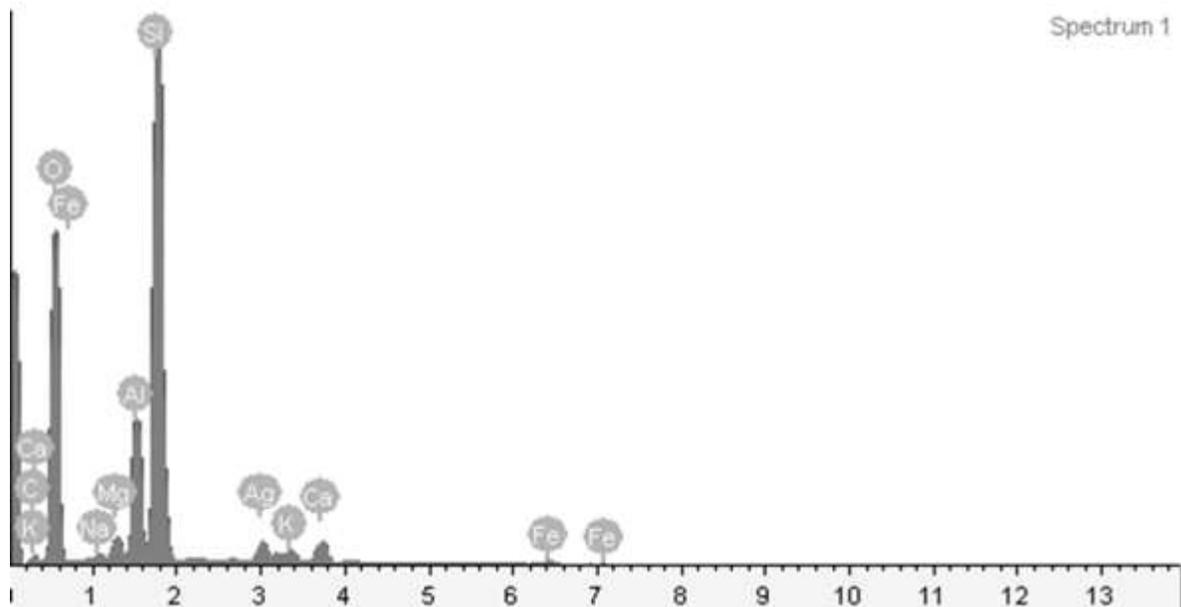


Figura 7. Espectro de la muestra ZNCL3%Ag.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Elementos y porcentajes de las muestras ZNCH y ZNCH3%Ag.

Elemento	Peso % S/Ag	Peso % C/Ag
C	-----	11.78
O	48.88	55.13
Na	0.47	0.43
Mg	1.64	2.01
Al	8.74	5.57
Si	33.58	18.09
K	1.10	0.57
Ca	2.45	1.07
Fe	3.14	1.40
Ag	0.00	3.95
TOTAL	100.00	100.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Elementos y porcentajes de las muestras ZNCL y ZNCL3%Ag.

Elemento	Peso % S/Ag	Peso % C/Ag
C	7.77	8.91
O	55.45	57.21
Na	0.57	0.27
Mg	0.78	0.99
Al	5.82	5.51
Si	25.72	21.83
K	1.11	0.64
Ca	2.00	1.35
Fe	0.78	0.57
Ag	0.00	2.72
TOTAL	100.00	100.00

Fuente: elaboración propia.

6.3 Pruebas cinéticas

Para realizar las pruebas cinéticas, se preparó una solución madre de 1.5 L de hexano y DDD a 1 ppm (el primero con una pureza de 99% y el segundo con una de 99.5%, ambos de la marca Sigma-Aldrich), de la cual se vertió 0.025 L en 5 tubos (0.005 L en cada uno), para llevar a cabo la recta de calibrado considerando los siguientes puntos: a) 0.2 ppm, b) 0.4 ppm, c) 0.6 ppm, d) 0.8 ppm, y e) 1 ppm. Posteriormente, se tomaron 64 tubos que fueron lavados con jabón y enjuagados 10 veces, las primeras cuatro con agua potable, las siguientes cuatro con agua destilada y las últimas dos con agua desionizada; se dejaron secar por completo para proceder a la realización de las pruebas. Se vertieron 0.32 L de la solución madre en esos 64 tubos (0.005 L en cada uno) y se agregaron 0.025 g de cada muestra para ser colocadas en baño a una temperatura de 25 °C, una velocidad de 100 rpm y durante 8 tiempos de 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 y 360 minutos, de acuerdo a la siguiente distribución: a) para la muestra ZNCH 8 tubos; b) para la muestra ZNCH1%Ag 8 tubos; c) para la muestra ZNCH2%Ag 8 tubos; d) para la muestra ZNCH3%Ag 8 tubos; e) para la muestra ZNCL 8 tubos; f) para la muestra ZNCL1%Ag 8 tubos; g) para la muestra

ZNCL2%Ag 8 tubos y h) para la muestra ZNCL3%Ag 8 tubos; lo que resultó en un subtotal de 8 corridas de experimentos sólo para la temperatura de 25 °C.

Se tomaron nuevamente 0.32 L de la solución madre para colocarlos en 64 tubos (0.005 L en cada uno) y se agregaron 0.025 g de cada muestra para ser colocadas en baño a una temperatura de 35 °C, una velocidad de 100 rpm y durante 8 tiempos de 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 y 360 minutos, de acuerdo a la siguiente distribución: a) para la muestra ZNCH 8 tubos; b) para la muestra ZNCH1%Ag 8 tubos; c) para la muestra ZNCH2%Ag 8 tubos; d) para la muestra ZNCH3%Ag 8 tubos; e) para la muestra ZNCL 8 tubos; f) para la muestra ZNCL1%Ag 8 tubos; g) para la muestra ZNCL2%Ag 8 tubos y h) para la muestra ZNCL3%Ag 8 tubos; lo que resultó en un subtotal de 8 corridas de experimentos para la temperatura de 35 °C.

Por tercera ocasión, se tomaron 0.32 L de la solución madre para colocarlos en 64 tubos (0.005 L en cada uno) y se agregaron 0.025 g de cada muestra para ser colocadas en baño a una temperatura de 45 °C, una velocidad de 100 rpm y durante 8 tiempos de 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 y 360 minutos, de acuerdo a la siguiente distribución: a) para la muestra ZNCH 8 tubos; b) para la muestra ZNCH1%Ag 8 tubos; c) para la muestra ZNCH2%Ag 8 tubos; d) para la muestra ZNCH3%Ag 8 tubos; e) para la muestra ZNCL 8 tubos; f) para la muestra ZNCL1%Ag 8 tubos; g) para la muestra ZNCL2%Ag 8 tubos y h) para la muestra ZNCL3%Ag 8 tubos. Lo que resultó en un subtotal de 8 corridas de experimentos para la temperatura de 45 °C.

De lo anterior se suman en total 24 corridas de experimentos, correspondientes a las pruebas cinéticas. Para finalizar con esta parte experimental, se retiró el líquido de cada tubo con el uso de una punta exclusiva de cada muestra y se colocó en un tubo previamente lavado, enjuagado y secado con el procedimiento descrito en el párrafo penúltimo anterior, para proceder a la lectura correspondiente en el equipo de UV-VIS Agilent, modelo 8453.

Los resultados para las muestras ZNCH, ZNCH1%Ag, ZNCH2%Ag, ZNCH3%Ag, ZNCL, ZNCL1%Ag, ZNCL2%Ag, ZNCL3%Ag, se presentan en figura 8, figura 9, figura 10, figura 11, figura 12, figura 13, figura 14 y figura 15, respectivamente, en donde el punto de equilibrio fue alcanzado en los 180 minutos.

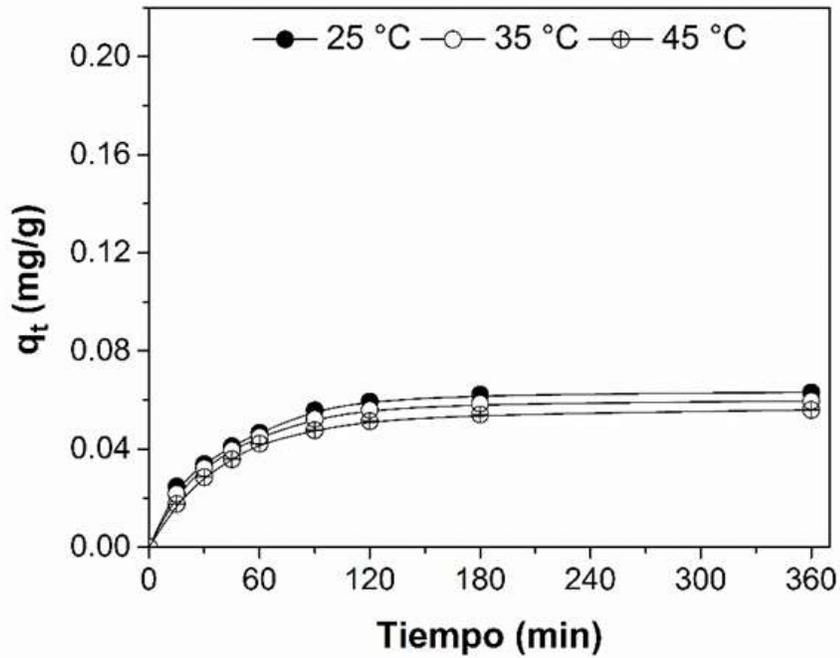


Figura 8. Zeolita natural tipo chabazita a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas cinéticas.
Fuente: Elaboración propia.

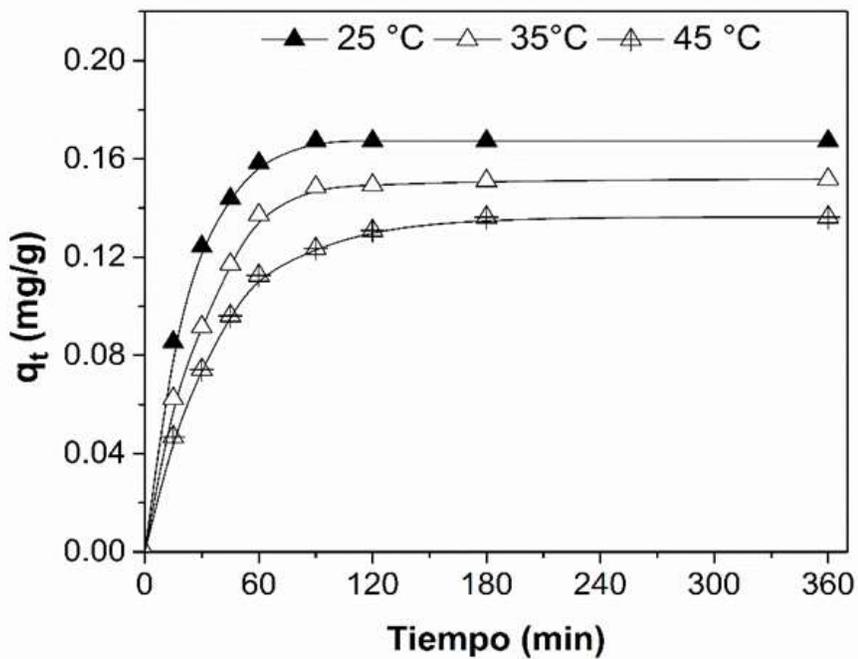


Figura 9. Zeolita natural tipo chabazita con 1% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas cinéticas.
Fuente: Elaboración propia.

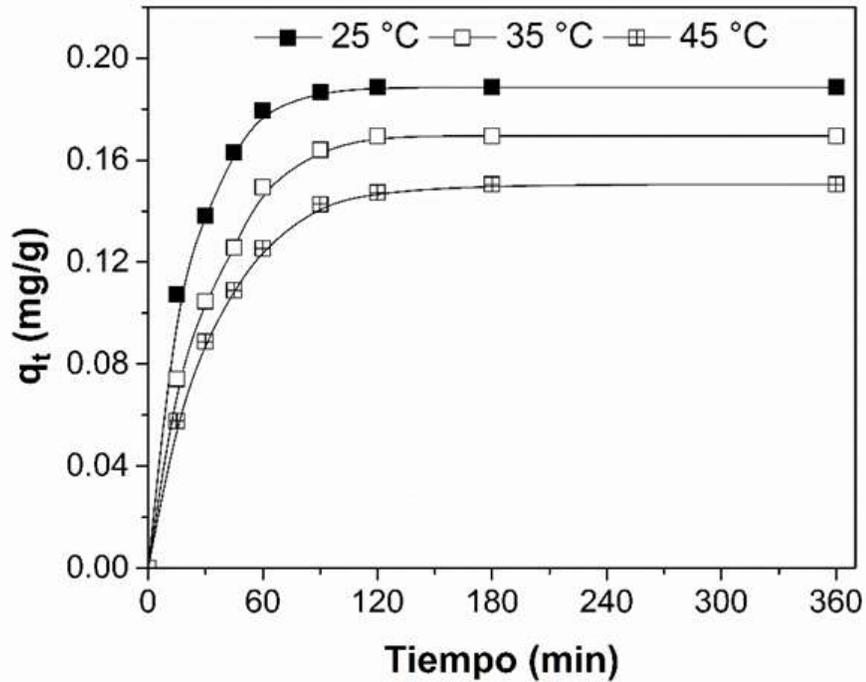


Figura 10. Zeolita natural tipo chabazita con 2% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas cinéticas.
Fuente: Elaboración propia.

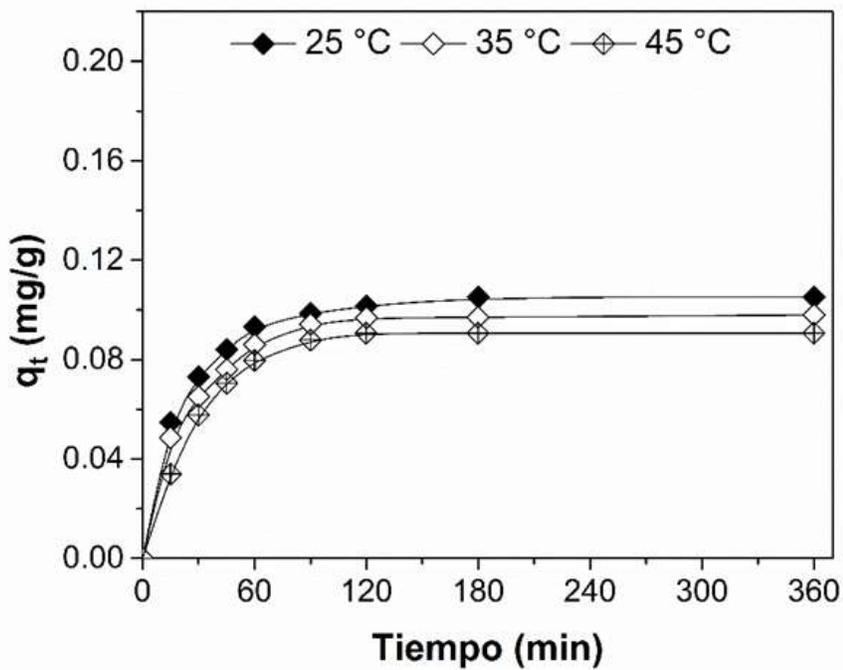


Figura 11. Zeolita natural tipo chabazita con 3% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas cinéticas.
Fuente: Elaboración propia.

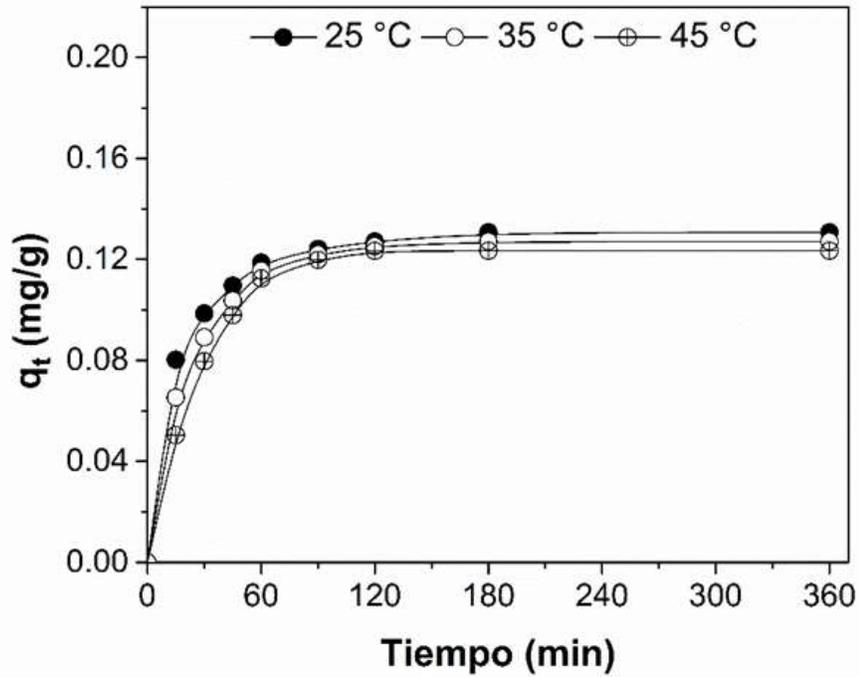


Figura 12. Zeolita natural tipo clinoptilolita a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas cinéticas.
Fuente: Elaboración propia.

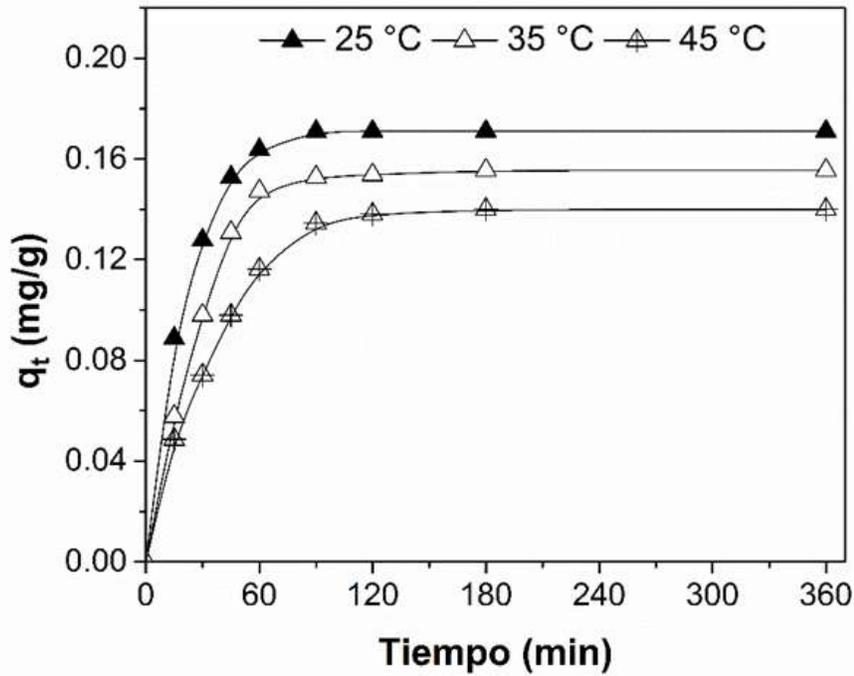


Figura 13. Zeolita natural tipo clinoptilolita con 1% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas cinéticas.
Fuente: Elaboración propia.

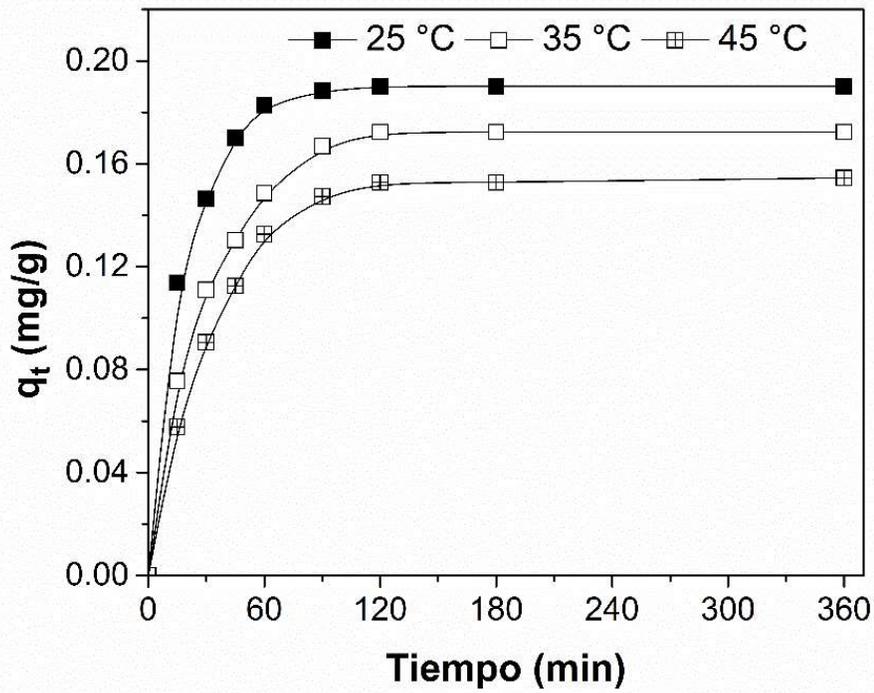


Figura 14. Zeolita natural tipo clinoptilolita con 2% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas. Fuente: Elaboración propia.

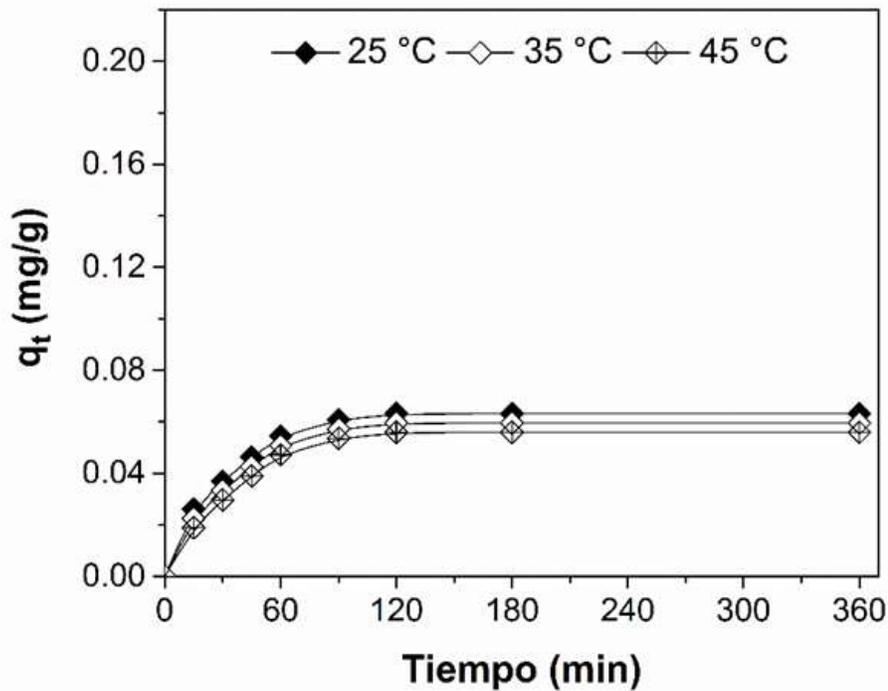


Figura 15. Zeolita natural tipo clinoptilolita con 3% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas cinéticas. Fuente: Elaboración propia.

6.4 Pruebas isotermas

Para la siguiente parte de los experimentos que corresponde a las pruebas isotermas, se tomaron 80 tubos que fueron lavados con jabón y enjuagados 10 veces, las primeras cuatro con agua potable, las siguientes cuatro con agua destilada y las últimas dos con agua desionizada, dejándose secar por completo para estar así en posibilidad de llevar a cabo las pruebas isotermas. Se agregaron 0.25 g de cada muestra en 10 tubos (es decir, 0.025 g en cada tubo) con las diferentes concentraciones que se contemplaron a partir de la solución madre: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0 ppm, aforándose con hexano hasta alcanzar los 0.005 L en cada tubo; las muestras fueron colocadas en baño a una velocidad de 100 rpm, a una temperatura de 25 °C y durante un tiempo de 180 minutos, debido a que fue en ese tiempo donde las muestras alcanzaron su punto de equilibrio; lo anterior de acuerdo a la siguiente distribución: a) para la muestra ZNCH 10 tubos; b) para la muestra ZNCH1%Ag 10 tubos; c) para la muestra ZNCH2%Ag 10 tubos; d) para la muestra ZNCH3%Ag 10 tubos; e) para la muestra ZNCL 10 tubos; f) para la muestra ZNCL1%Ag 10 tubos; g) para la muestra ZNCL2%Ag 10 tubos y h) para la muestra ZNCL3%Ag 10 tubos; lo que resultó en un subtotal de 8 corridas de experimentos tan sólo para la temperatura de 25 °C.

Se tomaron nuevamente 80 tubos que fueron lavados, enjuagados y secados de acuerdo al procedimiento descrito en el párrafo anterior, y se agregaron 0.25 g de cada muestra en 10 tubos (es decir, 0.025 g en cada tubo) con las diferentes concentraciones que se contemplaron a partir de la solución madre: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0 ppm, aforándose con hexano hasta alcanzar los 0.005 L en cada tubo; las muestras fueron colocadas en baño a una velocidad de 100 rpm, a una temperatura de 35 °C y durante un tiempo de 180 minutos; lo anterior de acuerdo a la siguiente distribución: a) para la muestra ZNCH 10 tubos; b) para la muestra ZNCH1%Ag 10 tubos; c) para la muestra ZNCH2%Ag 10 tubos; d) para la muestra ZNCH3%Ag 10 tubos; e) para la muestra ZNCL 10 tubos; f) para la muestra ZNCL1%Ag 10 tubos; g) para la muestra ZNCL2%Ag 10 tubos y h) para la muestra ZNCL3%Ag 10 tubos; lo que resultó en un subtotal de 8 corridas de experimentos sólo para la temperatura de 35 °C.

Por tercera ocasión, se tomaron 80 tubos que fueron lavados, enjuagados y secados con el procedimiento mencionado en el párrafo penúltimo anterior. Se agregaron 0.25 g de cada muestra en 10 tubos (es decir, 0.025 g en cada tubo) con las diferentes concentraciones

que se contemplaron a partir de la solución madre: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0 ppm, aforándose con hexano hasta alcanzar los 0.005 L en cada tubo; las muestras fueron colocadas en baño a una velocidad de 100 rpm, a una temperatura de 45 °C y durante un tiempo de 180 minutos; lo anterior de acuerdo a la siguiente distribución: a) para la muestra ZNCH 10 tubos; b) para la muestra ZNCH1%Ag 10 tubos; c) para la muestra ZNCH2%Ag 10 tubos; d) para la muestra ZNCH3%Ag 10 tubos; e) para la muestra ZNCL 10 tubos; f) para la muestra ZNCL1%Ag 10 tubos; g) para la muestra ZNCL2%Ag 10 tubos y h) para la muestra ZNCL3%Ag 10 tubos; lo que resultó en un subtotal de 8 corridas de experimentos para la temperatura de 45 °C, y de lo cual se derivan en total 24 corridas de experimentos para las pruebas isotermas.

De lo anterior se suman en total 24 corridas de experimentos, correspondientes a las pruebas cinéticas. Para finalizar con esta parte experimental, se retiró el líquido de cada tubo con el uso de una punta exclusiva de cada muestra, y se colocó en un tubo previamente lavado, enjuagado y secado con el procedimiento descrito en el párrafo penúltimo anterior; al término del tiempo de contacto la concentración de DDD fue medida en un espectrofotómetro de UV-VIS marca Agilent, modelo 8453.

Los resultados de las muestras ZNCH, ZNCH1%Ag, ZNCH2%Ag, ZNCH3%Ag, ZNCL, ZNCL1%Ag, ZNCL2%Ag, ZNCL3%Ag se presentan en figura 16, figura 17, figura 18, figura 19, figura 20, figura 21, figura 22 y figura 23, revelando que la mayor capacidad que tiene el compuesto le corresponde a la muestra ZNCH2%Ag a 25 °C, con la que se alcanza una adsorción de 0.19 mg/g.

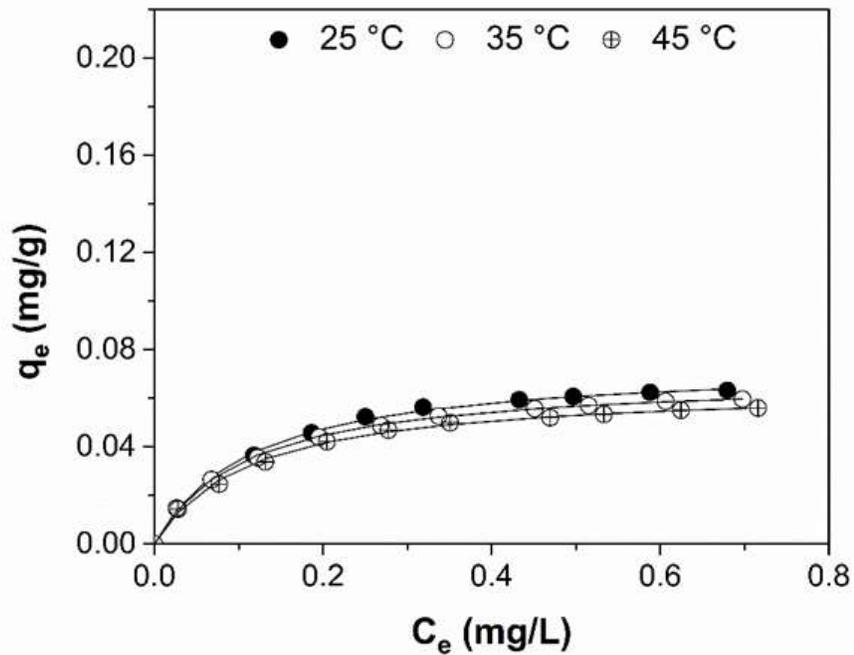


Figura 16. Zeolita natural tipo chabazita a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas isotermas.
Fuente: Elaboración propia.

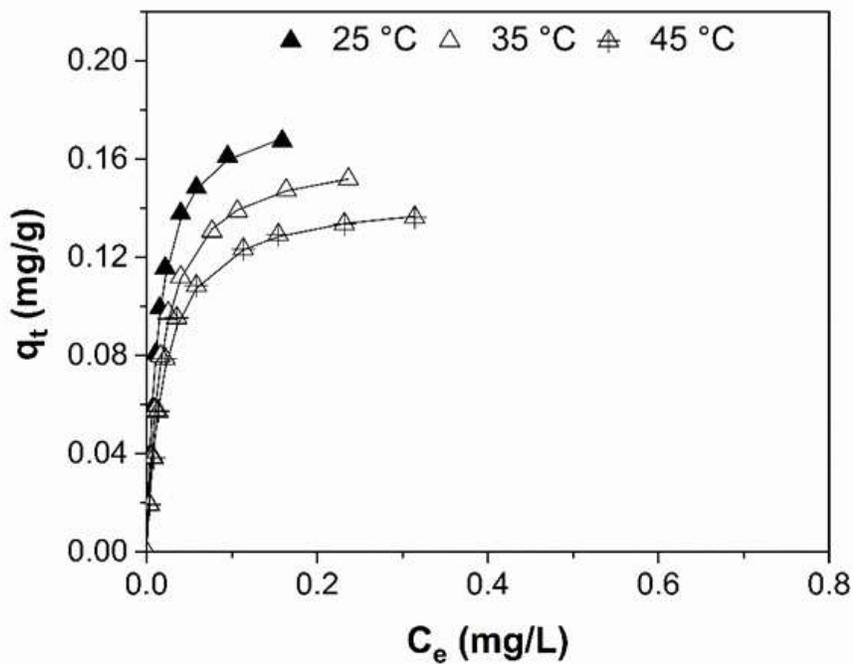


Figura 17. Zeolita natural tipo chabazita con 1% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas isotermas.
Fuente: Elaboración propia.

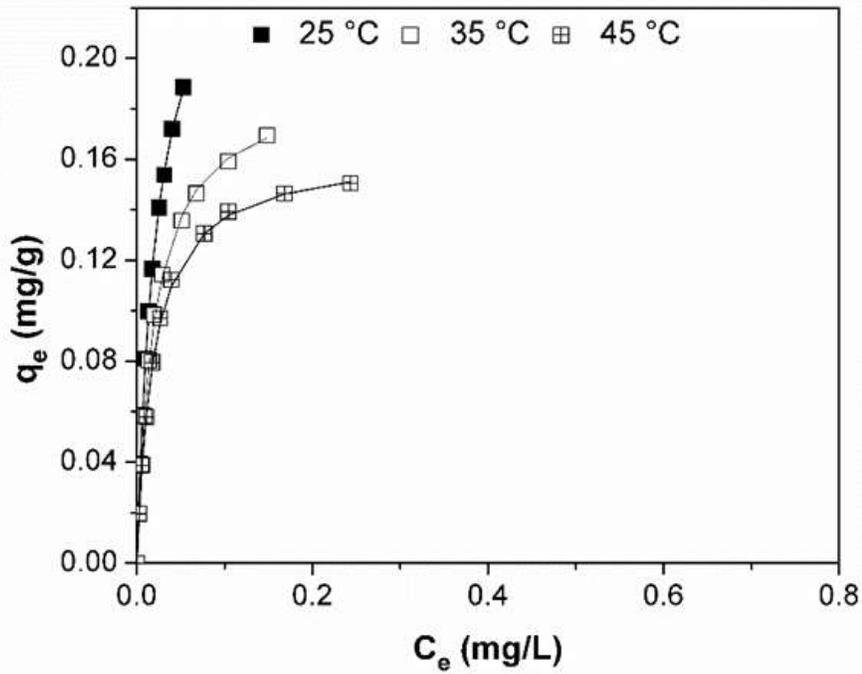


Figura 18. Zeolita natural tipo chabazita con 2% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isotermas.

Fuente: Elaboración propia.

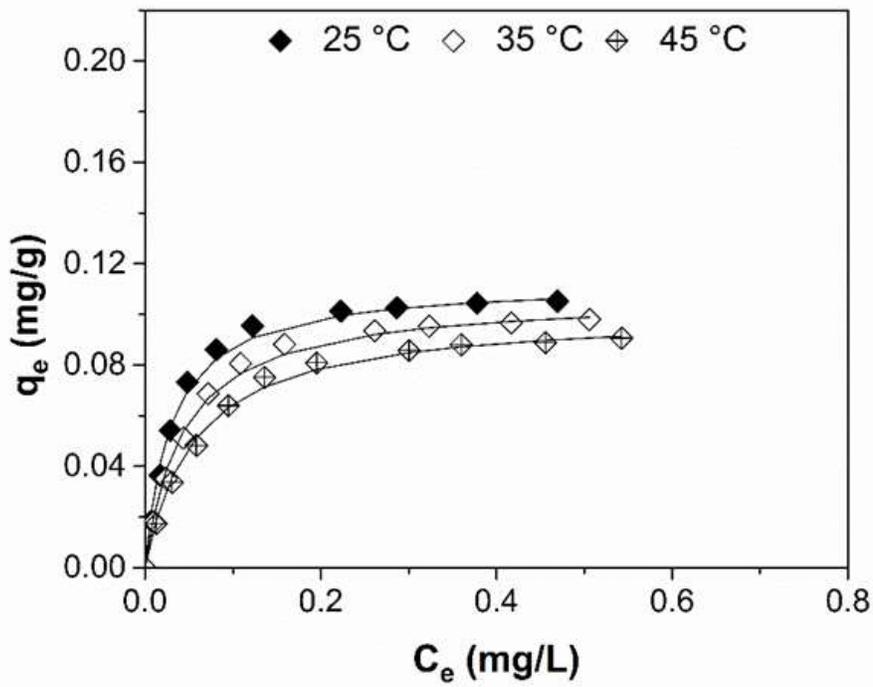


Figura 19. Zeolita natural tipo chabazita con 3% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isotermas.

Fuente: Elaboración propia.

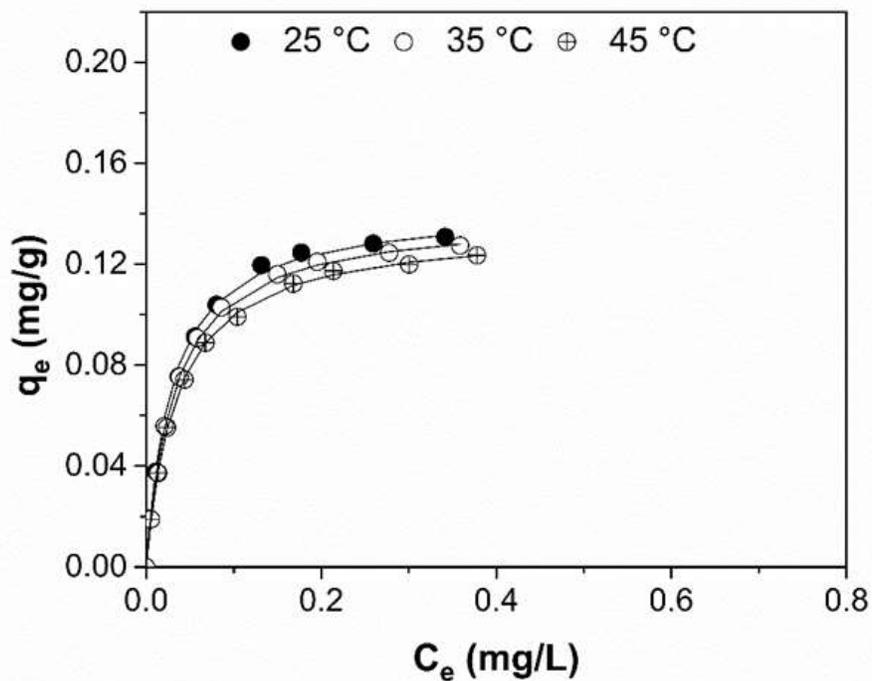


Figura 20. Zeolita natural tipo clinoptilolita a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isotermas.

Fuente: Elaboración propia.

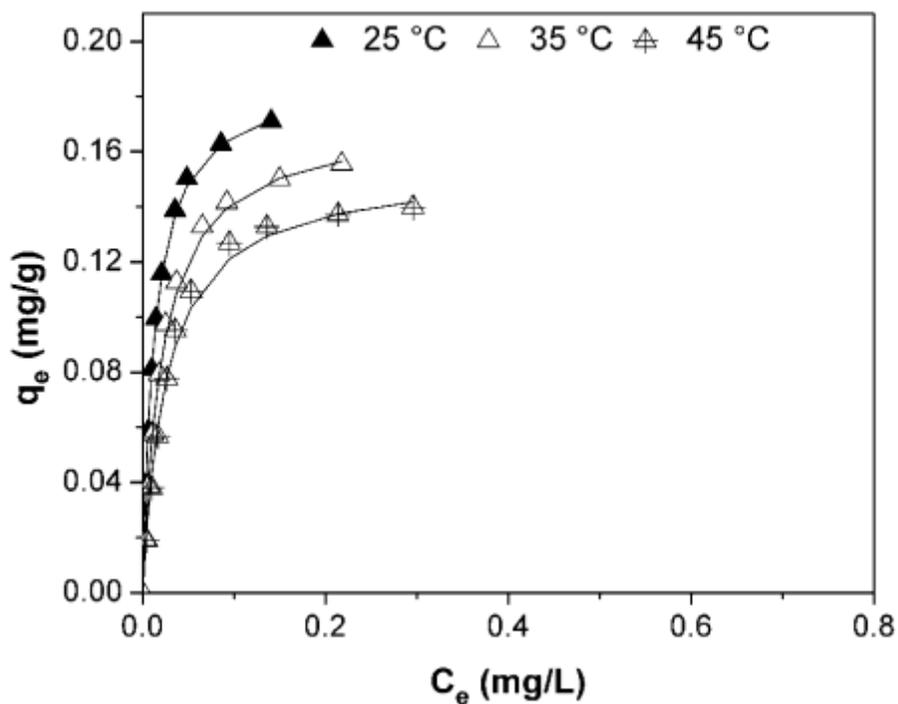


Figura 21. Zeolita natural tipo clinoptilolita con 1% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C. Pruebas isotermas.

Fuente: Elaboración propia.

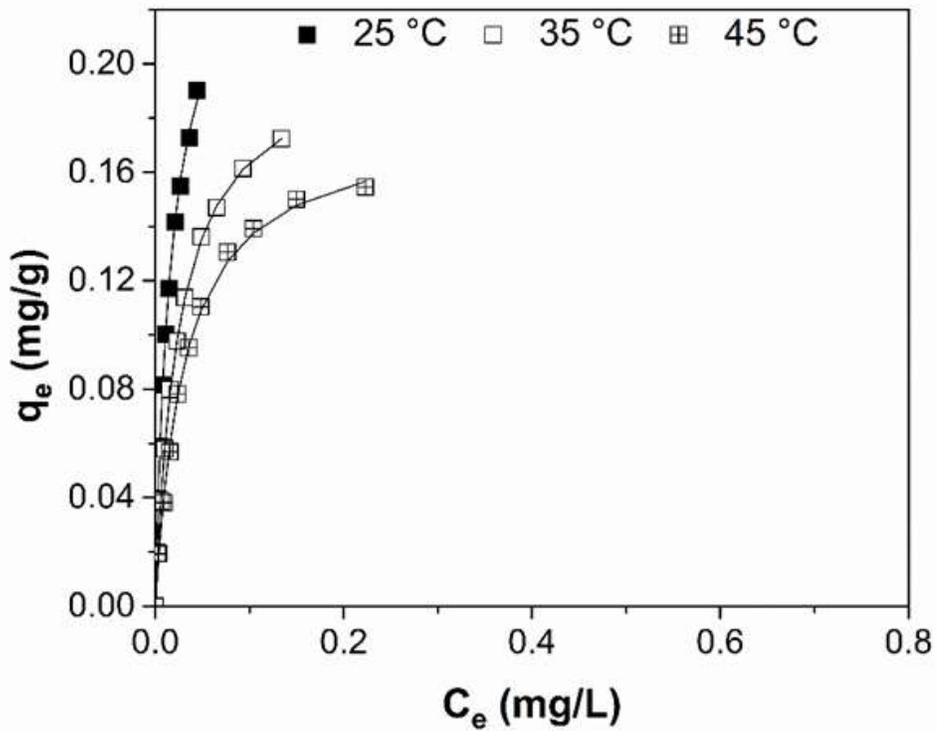


Figura 22. Zeolita natural tipo clinoptilolita con 2% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas isotermas.
Fuente: Elaboración propia.

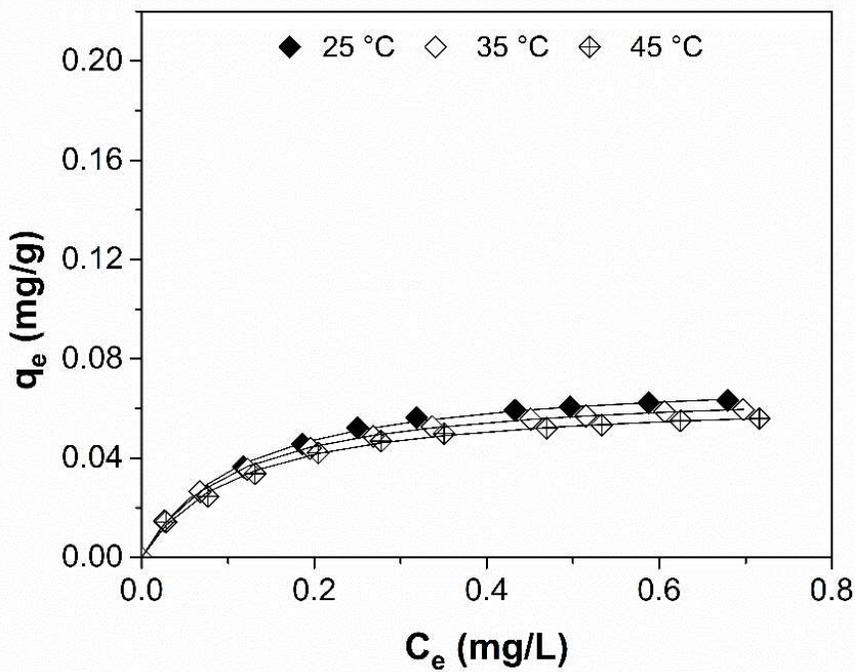


Figura 23. Zeolita natural tipo clinoptilolita con 3% de Ag a 25 °C, 35 °C y 45 °C.
Pruebas isotermas.
Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos se llevaron a cabo de la siguiente manera, la cantidad de DDD adsorbido por la zeolita a un determinado tiempo (q_t , mg/g) y en el equilibrio (q_e , mg/g) se determinó utilizando las ecuaciones 1 y 2:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{W} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (2)$$

Donde C_0 y C_e (mg/L) son la concentración inicial y final del adsorbato, respectivamente. C_t (mg/L) es la concentración a un tiempo t , V es el volumen de la solución (L) y W es la masa del adsorbente (g).

La cinética de adsorción de DDD en los materiales fueron examinados por los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden que han sido ampliamente utilizados para predecir la cinética de adsorción (Murillo, Giraldo y Moreno, 2011). El primer modelo dado por Lagergren (1898) es definido como:

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

Integrando la ecuación 3 con respecto a las condiciones límites $q=0$ a $t=0$ y $q=q_e$ a $t=t$ se obtiene:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303t} \quad (4)$$

La ecuación de pseudo segundo orden basado en la adsorción de equilibrio se expresa como (Ho y McKay, 1999):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5)$$

Donde k_1 es la constante de velocidad de adsorción de Lagergren (min^{-1}), k_2 (g/mg min) es la constante de velocidad de pseudo segundo orden, q_t y q_e son las cantidades de DDD adsorbido a un tiempo t y en el equilibrio respectivamente, t (min).

En la tabla 5 se presentan los parámetros de los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para las diferentes muestras estudiadas, en donde se comparan

los valores obtenidos experimentalmente para cada una de las muestras con los valores calculados de q_e en ambos modelos.

Tabla 5. Parámetros de modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden.

CHABAZITA							
Chabazita natural				Chabazita 1% Ag			
Modelo	Temperatura (°C)			Modelo	Temperatura (°C)		
	25	35	45		25	35	45
Pseudo-primer order				Pseudo-primer order			
q_e (mg/g)	0.0604	0.0544	0.0488	q_e (mg/g)	0.1723	0.2154	0.1322
k_1 (1/min)	0.0232	0.0219	0.0190	k_1 (1/min)	0.0474	0.0452	0.0266
R^2	0.9982	0.9983	0.9924	R^2	0.9928	0.9850	0.9916
Pseudo-segundo order				Pseudo-segundo order			
q_e (mg/g)	0.0687	0.0648	0.0615	q_e (mg/g)	0.1730	0.1606	0.1477
k_2 (g/mg min)	0.5737	0.5973	0.5374	k_2 (g/mg min)	0.6893	0.4082	0.2949
R^2	0.9977	0.9980	0.9977	R^2	0.9985	0.9967	0.9961
Chabazita 2% Ag				Chabazita 3% Ag			
Modelo	Temperatura (°C)			Modelo	Temperatura (°C)		
	25	35	45		25	35	45
Pseudo-primer order				Pseudo-primer order			
q_e (mg/g)	0.2025	0.2448	0.1660	q_e (mg/g)	0.0868	0.0929	0.1013
k_1 (1/min)	0.0511	0.0415	0.0329	k_1 (1/min)	0.0305	0.0350	0.0386
R^2	0.9919	0.9918	0.9959	R^2	0.9800	0.9908	0.9931
Pseudo-segundo order				Pseudo-segundo order			
q_e (mg/g)	0.1943	0.1829	0.1611	q_e (mg/g)	0.1098	0.1025	0.0962
k_2 (g/mg min)	0.6677	0.2734	0.3283	k_2 (g/mg min)	0.7469	0.7599	0.6640
R^2	0.9989	0.9928	0.9967	R^2	0.9993	0.9986	0.9961
CLINOPTILOLITA							
Clinoptilolita natural				Clinoptilolita 1% Ag			
Modelo	Temperatura (°C)			Modelo	Temperatura (°C)		
	25	35	45		25	35	45
Pseudo-primer order				Pseudo-primer order			
q_e (mg/g)	0.0730	0.1024	0.1336	q_e (mg/g)	0.1999	0.1515	0.1763
k_1 (1/min)	0.0277	0.0340	0.0398	k_1 (1/min)	0.0541	0.0404	0.0371
R^2	0.9887	0.9925	0.9947	R^2	0.9940	0.9507	0.9856
Pseudo-segundo order				Pseudo-segundo order			
q_e (mg/g)	0.1349	0.1325	0.1302	q_e (mg/g)	0.1763	0.1641	0.1517
k_2 (g/mg min)	0.8299	0.6956	0.5549	k_2 (g/mg min)	0.7457	0.4391	0.3019
R^2	0.9997	0.9989	0.9968	R^2	0.9986	0.9947	0.9941
Clinoptilolita 2% Ag				Clinoptilolita 3% Ag			
Modelo	Temperatura (°C)			Modelo	Temperatura (°C)		
	25	35	45		25	35	45
Pseudo-primer order				Pseudo-primer order			
q_e (mg/g)	0.1824	0.1977	0.1669	q_e (mg/g)	0.0770	0.0682	0.0591
k_1 (1/min)	0.0513	0.0381	0.0338	k_1 (1/min)	0.0374	0.0355	0.0299
R^2	0.9940	0.9795	0.9937	R^2	0.9831	0.9829	0.9834
Pseudo-segundo order				Pseudo-segundo order			
q_e (mg/g)	0.1950	0.1820	0.1652	q_e (mg/g)	0.0674	0.0640	0.0607
k_2 (g/mg min)	0.8013	0.3756	0.3259	k_2 (g/mg min)	0.8744	0.8189	0.7528
R^2	0.9992	0.9974	0.9963	R^2	0.9963	0.9966	0.9933

Fuente: Elaboración propia.

Las constantes de velocidad se emplean para calcular la velocidad de adsorción inicial; según las correlaciones obtenidas con el modelo de pseudo segundo orden, que fue el que se ajustó favorablemente, se determinó una mayor velocidad de adsorción en todos los casos a los 25 °C y el valor empieza a disminuir cuando se aumenta la temperatura.

Los datos experimentales de equilibrio del intercambio de DDD se ajustaron con el modelo de Langmuir (1916) que se representa con la ecuación siguiente:

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (6)$$

Donde C_e es la concentración de DDD en el equilibrio, q_m y b son los parámetros relacionados con la máxima capacidad de adsorción y la interacción del adsorbato-adsorbente, respectivamente. Las constantes de la isoterma se estimaron utilizando la ecuación linealizada que se expresa:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{b q_m} \quad (7)$$

Las constantes de Langmuir b y q fueron calculadas y los valores obtenidos con las tres diferentes temperaturas se presentan en la tabla 6, en donde se observa que la constante b , relacionada con la energía de adsorción, incrementa cuando hay incremento de la temperatura, lo que indica un decremento de la adsorción a altas temperaturas.

Tabla 6. Constantes de Langmuir para el DDD.

CHABAZITA							
Chabazita natural				Chabazita 1%Ag			
Modelo	Temperatura (°C)			Modelo	Temperatura (°C)		
	25	35	45		25	35	45
Langmuir				Langmuir			
q_m (mg/g)	0.0745	0.0688	0.0648	q_m (mg/g)	0.1834	0.1641	0.1458
b (L/mg)	8.7928	9.3145	8.9231	b (L/mg)	70.7341	52.5850	47.7058
R^2	0.9990	0.9996	0.9990	R^2	0.9996	0.9999	0.9998
Chabazita 2%Ag				Chabazita 3%Ag			
Modelo	Temperatura (°C)			Modelo	Temperatura (°C)		
	25	35	45		25	35	45
Langmuir				Langmuir			
q_m (mg/g)	0.2700	0.1907	0.1628	q_m (mg/g)	0.1129	0.1074	0.1008
b (L/mg)	43.2640	50.9097	52.6818	b (L/mg)	33.4902	23.0962	17.7528
R^2	0.9995	0.9997	0.9998	R^2	0.9990	0.9989	0.9989
CLINOPTILOLITA							
Clinoptilolita natural				Clinoptilolita 1%Ag			
Modelo	Temperatura (°C)			Modelo	Temperatura (°C)		
	25	35	45		25	35	45
Langmuir				Langmuir			
q_m (mg/g)	0.1428	0.1395	0.1348	q_m (mg/g)	0.1877	0.1719	0.1542
b (L/mg)	34.0097	30.8288	28.6605	b (L/mg)	75.8960	46.7285	38.4076
R^2	0.9992	0.9998	0.9998	R^2	0.9998	0.9993	0.9981
Clinoptilolita 2%Ag				Clinoptilolita 3%Ag			
Modelo	Temperatura (°C)			Modelo	Temperatura (°C)		
	25	35	45		25	35	45
Langmuir				Langmuir			
q_m (mg/g)	0.2575	0.2048	0.1782	q_m (mg/g)	0.0745	0.0688	0.0648
b (L/mg)	58.9287	39.7364	32.5763	b (L/mg)	8.7928	9.3145	8.9231
R^2	0.9985	0.9997	0.9991	R^2	0.9990	0.9996	0.9990

Fuente: elaboración propia.

VII. DISCUSIÓN

En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados del análisis por MEB-EDX realizados a la chabazita (ZNCH) y clinoptilolita (ZNCL) en su forma natural y en su forma modificada ZNCH3%Ag y ZNCL3%Ag, respectivamente. Se aprecia que tanto la chabazita como la clinoptilolita en su estado natural al ser tratadas con plata, incorpora la primera el 3.95% del peso de ésta, y la segunda añade el 2.72%; lo antes descrito era esperado ya que las zeolitas tienen las propiedades de adsorción, tamiz molecular e intercambio catiónico (Giannetto, 2000; Soria et al., 2012; Zheng, Walker y Zhu, 2017). Se muestra que la chabazita tiene una relación Si/Al de alrededor de 3.84, mientras que la clinoptilolita mantiene una relación de 4.41; valores que son ligeramente inferiores a lo presentado para chabazitas y clinoptilolitas en varias partes del mundo (Alpat et al., 2008; Ashrafizadeh et al., 2008; Cabrera, Gabaldón y Marzal, 2005; Capasso et al., 2007; Du et al., 2005; Ostrooumov et al., 2006; Görtl y Hafner, 2013), lo que significa que el mineral en estudio tiene una mayor cantidad de sitios de intercambio iónico, ya que la capacidad de intercambio de una zeolita depende de la cantidad de tetraedros de aluminio $[AlO_4]^{5-}$ que están en el esqueleto estructural de la misma (Leyva-Ramos et al., 2005).

En las figuras 4 y 5 se muestra la superficie de las muestras ZNCH3%Ag y ZNCL3%Ag, que fueron analizadas por MEB a una amplitud de 1000X, en donde se observan claramente cristales triclinicos correspondientes a la chabazita y monoclinicos para la clinoptilolita y en forma de placas en tamaños variables del orden de 5 μ m, este aspecto es consistente con chabazitas y clinoptilolitas reportadas anteriormente (Cincotti et al. 2006; Hernández et al. 2010; Urbina-Sánchez et al., 2006). También presenta una estructura de superficie irregular con poros y partículas heterogéneos en forma y tamaño, esto se debe a que las zeolitas naturales presentan dos tipos de porosidad: la primaria, atribuible a los microporos y la secundaria, debida a los mesoporos (Hernández et al. 2010), como el diámetro de poro dependerá del número de tetraedros que lo formen y suele estar entre 0.3 y 0.74 nm (Giannetto et al. 2000; Alvarado et al., 2013), permite que se lleve a cabo la adsorción del ion plata que tiene un radio de hidratación de 0.341 nm (Nightingale, 1959). Las ZNCH3%Ag y ZNCL3%Ag presentaron regiones brillantes, lo que corresponde a oclusiones o cristales de plata en su forma metálica (Leyva-Ramos et al., 2005; Ramírez-Aparicio et al., 2012). En las figuras 2 y 3 se presenta la superficie de la chabazita y la clinoptilolita sin modificar,

ambas fueron analizadas por MEB a una amplitud de 1000X, en donde no se aprecian oclusiones o regiones brillantes.

En lo que respecta a las pruebas cinéticas, las Figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se midieron las muestras de zeolita en sus dos tipos ZNCH, ZNCH1%Ag, ZNCH2%Ag, ZNCH3%Ag, ZNCL, ZNCL1%Ag, ZNCL2%Ag y ZNCL3%Ag, en donde se aprecia claramente que el equilibrio para el DDD en las ocho muestras se da a los 180 minutos de tiempo de contacto independientemente de la temperatura y que el comportamiento de la adsorción es similar en todas las muestras.

En las figuras 9, 10, 13 y 14, correspondientes a las muestras ZNCH1%Ag, ZNCH2%Ag, ZNCL1%Ag y ZNCL2%Ag respectivamente, se evidencia que la adsorción de DDD es mayor cuando disminuye la temperatura y que el máximo de adsorción ocurre a los 25 °C, este comportamiento fue reportado en otras investigaciones al encontrar que la capacidad de las zeolitas para intercambiar plata incrementa entre 1.4 y 1.5 veces al disminuir la temperatura (Leyva-Ramos et al., 2005; Leyva-Ramos et al., 2010).

En la tabla 6 se presentan los parámetros de los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para las diferentes muestras estudiadas. Comparando los valores obtenidos experimentalmente para cada una de las muestras con los valores calculados de q_e en ambos modelos, se observa una correlación muy cercana con el modelo cinético de pseudo segundo orden con valores de 0.9989 para la chabazita con el 2% de Ag a 25 °C, y 0.9992 para la clinoptilolita con el 2% de Ag a 25 °C, lo que indica la aplicabilidad del modelo para describir la cinética del DDD en el material de ambas zeolitas con plata. Esto representa la quimisorción debida a la formación de enlaces químicos entre adsorbente y adsorbato en una monocapa en la superficie (Kavitha y Namasivayam, 2007; Hameed, Tan y Ahmad, 2008).

En lo que corresponde a las pruebas de isothermas, las figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23 presentan los resultados del efecto de la temperatura en la adsorción efectuada con diferentes concentraciones de DDD a un tiempo de contacto de 180 minutos. En lo que respecta primeramente a la chabazita, se aprecia que la adsorción va incrementando hasta llegar a un promedio de 0.19 mg/L evidenciando que la máxima capacidad de adsorción del adsorbente es de 0.19 mg/L con una eficiencia de adsorción para el DDD del 96%; mientras

que para el caso de la clinoptilolita, se muestra que la adsorción alcanza un valor de 0.19 mg/L y después se vuelve constante indicando que la máxima capacidad de adsorción del adsorbente es de 0.19 mg/L con una eficiencia de adsorción para el DDD del 95%. Se evidencia que la capacidad de adsorción no es influenciada por la temperatura para concentraciones bajas de DDD. Sin embargo, la adsorción decrece cuando aumenta la temperatura a concentraciones altas. También se observa que la máxima adsorción se da a los 25 °C. En este sentido se encuentra que el orden de adsorción es 25 °C > 35 °C > 45 °C. Al tener que la adsorción es menor cuando la temperatura es mayor, se concluye que el proceso es de naturaleza exotérmica (Gupta y Ali, 2001), lo que pudiera deberse a que el DDD posee más energía cuando la temperatura se incrementa, por lo que requieren de más energía para intercambiarse y por ende al aumentar la temperatura se adsorbe menos.

Realizando una comparación entre las figuras 18, 19, 22 y 23, se tiene primeramente que la ZNCH2%Ag alcanza una adsorción de 0.19 mg/g, mientras que la ZNCH3%Ag obtiene una adsorción de 0.10 mg/g; por otra parte la ZNCL2%Ag logra una adsorción de 0.19 mg/g, mientras que la ZNCL3%Ag presenta una adsorción de 0.07 mg/g. Lo anterior se puede explicar porque no todos los sitios catiónicos de una zeolita están disponibles para el intercambio y pareciera indicar que los sitios catiónicos localizados en la superficie externa se saturaron con plata y el DDD no pudo penetrar dentro de las cavidades y canales del esqueleto estructural de la zeolita por su forma tridimensional, el tamaño molecular por la cantidad de cloros y la aromaticidad. Este resultado es muy similar a lo concluido por Moradi y colaboradores (2014), quienes realizaron experimentos con diferentes concentraciones de adsorbato y la mayor concentración presentó menor adsorción debido a la baja disponibilidad de sitios activos.

Considerando que los datos experimentales de equilibrio de la adsorción de DDD se ajustaron con el modelo de Langmuir, es crucial señalar que similares trabajos han reportado que el equilibrio de intercambio en las zeolitas naturales se puede representar por este modelo (Weber, Barbaruck y Westfall, 1983; Lieu, Williford y Reynolds, 1988; Al-Haj Ali y El-Bastawi, 1997; Soupioni et al., 1999, Leyva et al., 2004; Gupta y Ali, 2001). Esta isoterma interpretó satisfactoriamente los datos experimentales ya que la adsorción depende del número de átomos de aluminio presente en el esqueleto estructural, lo que supone que los cationes se intercambian sobre los sitios catiónicos de la zeolita natural; lo

antes descrito asume energías de adsorción sobre la superficie y no transmigración de adsorbato en el plano superficial.

Las constantes de Langmuir b y q fueron calculadas y en los valores obtenidos con las tres diferentes temperaturas que fueron presentadas en la tabla 7, se observa que la constante b , relacionada con la energía de adsorción, incrementa cuando hay incremento de la temperatura, lo que indica un decremento de la adsorción a altas temperaturas, teniendo una adsorción exotérmica.

Considerando la aportación de este trabajo escrito para la sustentabilidad, los resultados aseveran que el compuesto de ambas zeolitas con nanopartículas de plata puede remover DDD presente en agua, contribuyendo al cuidado de este recurso y minimizando los efectos adversos en los seres vivos. De igual manera varias investigaciones han contribuido al cuidado del medio ambiente y el bienestar de la sociedad a través de la aplicación de zeolitas y nanopartículas (Faghihian y Kamali, 2003; Shakur et al., 2016; Petranovskii et al., 2008; Ju-Nam y Lead, 2008).

Algunos autores recomiendan tomar precauciones en las concentraciones que se aplican de los nanocompuestos, ya que de lo contrario podrían tener perjuicios considerables en las tres fases que conforman la sustentabilidad: sociedad, medio ambiente y economía. Además señalan que la información disponible en la literatura que se relaciona con el uso de nanopartículas metálicas, corresponde a datos obtenidos a través de pruebas de laboratorio bajo condiciones controladas, lo que ocasiona incertidumbre (Tolaymat et al., 2016).

Sin embargo, Tolaymat y colaboradores (2015) aseguran que con las medidas correspondientes, la nanotecnología es y será una importante estrategia a nivel global por la diversidad de aplicaciones que pueden influir favorablemente en todas las partes que conforman los tres aspectos de la sustentabilidad.

VIII. CONCLUSIONES

La zeolita natural tipo chabazita y clinoptilolita intercambiada con Ag es efectiva para adsorber DDD de soluciones acuosas. El DDD es adsorbido a 25 ° a los 180 minutos para el caso de las muestras ZNCH2%Ag y ZNCL2%Ag al lograr una adsorción del 96% y 95% respectivamente. La cinética de adsorción del DDD es descrita por el modelo de pseudo segundo orden, representando la quimisorción entre el adsorbato-adsorbente en una monocapa en la superficie. Se encontró que estos procesos son más rápidos a menores temperaturas y a mayor temperatura se observa una disminución en la velocidad de adsorción.

Los datos experimentales de las isothermas de adsorción de DDD se ajustaron bien por el modelo de Langmuir. Se encontró que la capacidad de adsorción de la chabazita y la clinoptilolita no es afectada por la temperatura a concentraciones bajas de DDD, pero aumenta a concentraciones altas y cuando la temperatura disminuye, teniendo que el orden de adsorción de los adsorbatos es 25 °C > 35 °C > 45 °C.

IX. RECOMENDACIONES

Para este proyecto de tesis se recomienda sea considerado su complemento a través de la investigación en los siguientes temas: 1) los procesos de desorción e intercambio iónico que podrían efectuarse durante la adsorción de la molécula de DDD por el compuesto zeolita-Ag; y 2) el proceso de adsorción de otros Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) que afectan la calidad del agua, y que provocan efectos adversos en los animales, el ser humano y el medio ambiente.

X. REFERENCIAS

- Abrihamkar M. e Izadi A., 2013. Nono-ZSM-5 zeolite: Synthesis and application to electro catalytic oxidation of ethanol. *Microporous and Mesoporous Materials* 180, pp. 55-60.
- Academia Mexicana de Ciencias, 2010. El agua en México: cauces y encauces. [pdf] Comisión Nacional del Agua. ISBN: 978-607-95166-1-1. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/elaguaenmexico-caucesyencauces.pdf> [Consultado el 10/V/2015].
- Adlard B., Davis K., Liang C., Curren M., Rodríguez S., Riojas H., Hernández M., Foster W., Needham I., Wong I., PhilippeWeber J., Marro I., Leech T., y Oostdam J., 2014. Persistent organic pollutants (POPs) and metals in primiparous women: a comparison from Canada and Mexico. *Science of the Total Environment* 500-501 pp. 302-313.
- Aichele C.P., Venkataramani D., Smay J.E., McCann M.H., Richter S., Khazadeh-Moradillo M., Aboustait M., y Ley M.T., 2015. A comparison of automated scanning electron microscopy (AAS) instruments for particle sizing. *Colloids and Surfaces: Physicochem. Eng. Aspects*. 479, pp. 46-51.
- Al-Haj A. A. y El-Bastawi R., 1997. Removal of lead and nickel ions using zeolites tuff. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 69, pp. 27-34.
- Alvarado J., 2014. Caracterización de una chabasita natural sonoreña y evaluación de su potencial para utilizarse en la remoción de metales en agua. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencia de Materiales. Universidad de Sonora. División de Ingeniería. Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales.
- Alvarado J., Sotelo M., Meza D., Maubert M., y Paz F. A., 2013. Evaluación de la Potencialidad de una chabasita natural mexicana en la remoción de plomo en agua. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29 (2), pp. 201-210.
- Alpat S. K., Özbairak Ö., Alpat S., y Akcay H., 2008. The adsorption kinetics and removal of cationic dye, Toluidine Blue O, from aqueous solution with Turkish zeolite. *Journal of Hazardous Materials* 151, pp. 213-220.
- Ángeles, M., 2009. *Notas sobre la insuficiencia del régimen jurídico aplicable a los residuos en México.* [pdf] UNAM. Instituto de Investigaciones Jurídicas. Boletín de Derecho Comparado. Disponible en: http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/346/Publica_20120823144243.pdf [Consultado el 01/V/2015].
- Arrebola J., Fernández M., Olea N., Ramos R., y Olmedo P., 2013. Human exposure to p,p'-dichlorodiphenyldichloroethylene (p,p'-DDE) in urban and semi-rural areas in south east Spain: A gender perspective. *Science of Total Environment* 458-460, pp. 209-216.
- Asgari G., Rahmani A. R., Askari F. B., y Godini K., 2012. Catalytic Ozonation of Phenol Using Copper Coated Pumice and Zeolite as Catalysts. *Journal of Research in Health Sciences* 12(2), pp. 93-97.
- Ashrafizadeh S. N., Khorasani Z., y Gorjiara M., 2008. Ammonia removal from aqueous solutions by Iranian natural zeolite. *Separation Science and Technology* 43, pp. 960-978.
- Aslam T., Deurer M., Müller K., Clothier B., Rahman A., Northcott G., y Ghani A., 2009. Does an increase in soil organic carbon improve the filtering capacity of aggregated soils for organic pesticides?- A case study. *Geoderma* 152, pp. 187-193.
- ATSDR, 2016. Toxicological Profile for DDT, DDE and DDD. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. *Public Health Service*, [en línea]. Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs35.html [Consultado el 09/XI/2016].
- Aziz R.K., Khalifa M.M., y Sharaf R.R., 2015. Contaminated water as a source of *Helicobacter pylori* infection. *Journal of Advanced Research*. [e-journal] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.007> [Consultado 01/V/2015].
- Bajwa A., Ali U., Mahmood A., Chaudhry M. J. I., Syed J. H., Li J., Zhang G., Jones K. C., y Malik R. N., 2016. Organochlorine pesticides (OCPs) in the Indus River catchment area, Pakistan: Status, soil-air exchange and black carbon mediated distribution. *Chemosphere* 152, pp. 292-300.
- Becerril J.E., 2009. Contaminantes emergentes en el agua. *Revista Digital Universitaria*. UNAM. 10 (8). ISSN: 1067-6079.
- Bocanegra M.A., 2008. ¿Quién define el futuro del codiciado recurso agua? [en línea] *La Jornada ecológica*. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2008/03/31/eco-g.html> [Consultado 01/V/2015].
- Bolong N., Ismail A.F., Salim M.R., y Matsuura T., 2009. A review of the effects of emerging contaminants in waste water and options for their removal. *Desalination* 239, pp. 229-246.
- Borrego N., 2006. Las políticas públicas de protección al ambiente en Norteamérica. *Revista Mexicana de Estudios Canadienses (nueva época)*. Asociación Mexicana de Estudios sobre Canadá. ISSN: 1405-8251. 11, pp. 163-192.
- Brink K., Van Vuren J., y Bornman R., 2012. The lack of endocrine disrupting effects in catfish (*clarias gariepinus*) from DDT sprayed area. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 79, pp. 256-263.
- Cabrera C., Gabaldón C., y Marzal P., 2005. Sorption characteristics of heavy metal ions by a natural zeolite. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 80, pp. 477-481.

- Camargo I., y Mariscal K.E., 2012. Escasez de agua: en busca de soluciones normativas. *Economía informa* 374, pp. 53-74.
- Campo S., 2014. Los 8 conflictos que podría causar el agua. Teinteresa.es.Mundo. [en línea] Disponible en: http://www.teinteresa.es/mundo/conflictos-podria-desatar-agua_0_1076293774.html#sr=g&m=o&cp=or&ct=-tmc&st=iuuq%3B%2G%2Gxxx&ts=1391440452 [Consultado el 30/VI/2015].
- Capasso S., Coppola E., Iovino P., Salvestrini S., y Colella C., 2007. Sorption of humic acids on zeolitic tuffs. *Microporous and Mesoporous Materials* 105, pp. 324-328.
- Cha K. M., Lee E. S., Kim I. W., Cho H. K., y Ryu J. H., 2016. Canola oil is an excellent vehicle for eliminating pesticide residues in aqueous ginseng extract. *J. Ginseng Res.* 40, pp. 292-299.
- Chen Z., D'Alfonso A.J., Weyland M., Taplin D.J., Allen L.J., y Findlay S.D., 2015. Energy dispersive X-ray analysis on an absolute scale in scanning transmission electron microscopy. *Ultramicroscopy.* 157, pp. 21-26.
- Chu Y., Zhang B., Zhang Q., Wang Y., Su D., y Wei F., 2013. The use of deposited nanocarbon for characterization of zeolite supported metal catalyst. *Microporous and Mesoporous Materials* 169, pp. 201-206.
- Cincotti A., Mameli A., Locci A. M., Orru R., y Cao G. H., 2006. *Ind. Eng. Chem. Res.* 45, pp. 1074.
- Corona O., Hernández M.A., Hernández F., Rojas F., Portillo R., Lara V., y Carlos F., 2009. Propiedades de adsorción en zeolitas con anillos de 8 miembros, I. Microporosidad y superficie externa. *Revista Matéria* 14, pp. 918-931.
- Dastafkan K., Mostafa Khajeh M., Ghaffari-Moghaddam M., y Bohlooli M., 2015. Silver nanoparticles for separation and preconcentration processes. *Trends in analytical Chemistry* 64, pp. 118-126.
- Deravanesiyan M., Beheshti M., y Malekpour A., 2015. Alumina nanoparticles immobilization onto the NaX zeolite and the removal of Cr (III) and Co (II) ions from aqueous solutions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 21, pp. 580-586.
- Díaz-Barriga F., López D., Pérez I. N., Batres L. E., y Yáñez L., 2004. Evaluación del riesgo para las sustancias tóxicas persistentes. *Las sustancias tóxicas persistentes en México*. Comp. Adrián Fernández Bremauntz, Mario Yarto Ramírez y José Castro Díaz. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. 1ª. Ed. México, pp. 233-243.
- Díaz E., Alvarado A.R., y Camacho K.E., 2012. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. UNAM. *Quivera.* 14(1), pp. 78-97.
- Domene M., 2012. Seguridad y Salud Laboral. Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), la nocividad que no cesa. Riesgos Emergentes. [en línea] Disponible en: <http://archivosseguridadlaboral-manueldomene.blogspot.mx/2012/01/contaminantes-organicos-persistentes.html> [consultado el 10/V/2015].
- Du Q., Liu S., Cao Z., y Wang Y., 2005. Ammonia removal from aqueous solution using natural Chinese clinoptilolite. *Separation and Purification Technology* 44, pp. 229-234.
- Duhec A.V., Jeanne R.F., Maximenko N., y Hafner J., 2015. Composition and potential origin of marine debris stranded in the Western Indian Ocean on remote Alphonse Island, Seychelles. *Marine Pollution Bulletin.* 96, pp. 76-86.
- El Banco Mundial, 2013. Noticias. Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. [en línea] Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados> [Consultado el 01/VII/2015].
- Elvira J., 2007. *Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo*. [pdf] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. Disponible en: http://siscop.inecc.gob.mx/novedades/pni_resumen.pdf [Consultado 15/II/2015].
- EPA, 2014. *Leyes ambientales: El origen de las normas*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. [en línea] Disponible en <http://www.epa.gov/espanol/leyes/origen.html> [Consultado el 01/V/2015].
- Ewence A., Brescia S., Johnson I., y Rumsby P.C., 2015. An approach to the identification and regulation of endocrine disrupting pesticides. *Food and Chemical Toxicology.* 78, pp. 214-220.
- Faghihian H., y Kamali M., 2013. Synthesis of Na-P-c zeolite from perlite and study of its ability to remove cyanide from liquid wastes. *Int. J. Environ. Pollut.* 19, pp. 557-566.
- FAO, 2009. *La FAO en México. Más de 60 años de cooperación 1945-2009*. [pdf] Representación de la FAO en México. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: http://www.fao.org/mx/documentos/Libro_FAO.pdf [Consultado el 30/VI/2015].
- Fiorini C., Gilleron J., Carette D., Valette A., Tilloy A., Chevalier S., Segretain D., y Pointin G., 2008. Accelerated internalization of junctional membrane proteins (connexin 43, N-cadherin and ZO-1) within endocytic vacuoles: An early event of DDT carcinogenicity. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1778, pp. 56-67.
- Gaspar F. W., Chevrier J., Bornman R., Crause M., Obida M., Barr D. B., Bradman A., Bouwman H., y Eskenazi B., 2016. Corrigendum "Undisturbed dust as a metric of long-term indoor insecticide exposure: Residential

- DDT contamination from indoor residual spraying and its association with serum levels in the VHEMBE cohort" [Environ. Int. 85C (2015) 163-167]. *Environmental International*. 94, pp. 778-783.
- Giannetto G., 2000. Características, propiedades y aplicaciones industriales. *Zeolitas*. Ed. Innovación Tecnológica. Caracas, Venezuela.
- Görtl F., y Hafner J., 2013. Modelling the adsorption of short alkanes in protonated chabazite: The impact of dispersion forces and temperature. *Microporous and Mesoporous Materials* 166, pp. 176-184.
- Guaya D., Valderrama C., Farran A., Armijos C., y Cortina J., 2015. Simultaneous phosphate and ammonium removal from aqueous solution by a hydrated aluminum oxide modified natural zeolite. *Chemical Engineering Journal*. 271, pp. 204-213.
- Guerrero V., 2015. Agua, el recurso más valioso. ¿Cómo ves? *Revista de Divulgación de Ciencia de la UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México [en línea] Disponible en: <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/88/agua-el-recurso-mas-valioso> [Consultado 30/VI/2015].
- Gupta V. K, y Ali I., 2001. Removal of DDD and DDE from wastewater using bagasse fly ash, a sugar industry waste. *Wat. Res.* 35, pp. 33-40.
- Hajji L., Boukir A., Assouik J., Lakhari H., Kerbal A., Doumenq P., Mille G., y De Carvalho M.L., 2015. Conservation of Moroccan manuscript papers aged 150, 200 and 800 years. Analysis by infrared spectroscopy (ATR-FTIR), X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry (SEM-EDS). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 136 pp. 1038-1046.
- Hameed B. H., Tan I. A. W., y Ahmad A. L., 2008. Adsorption isotherm, kinetic modeling and mechanism of 2,4,6-trichlorophenol on coconut husk-based activated carbon. *Chem. Eng. J.* 144(2), pp. 235-344.
- Hansen A.M., Treviño L.G., Márquez H., Villada M., González L.C., Guillén R.A., y Hernández A., 2013. Atrazina: un herbicida polémico. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29, pp. 65-84.
- Heiligtag F.J., y Niederberger M., 2013. The fascinating World of nanoparticle Research. *Materials Today*. 16 (7/8), pp. 262-271.
- Hernández M. A., Rojas F., Lara V. H., Portillo R., Castelán R., Pérez G., y Salas R., 2010. Estructura porosa y propiedades estructurales de mordenita y clinoptilolita. *Superficies y Vacío* 23(S), pp. 51-56.
- Ho Y. S. y McKay G., 1999. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochem.* 34, pp. 451-465.
- IANAS, 2012. *Diagnóstico del Agua en las Américas*. [pdf] México: Red Interamericana de Academias de Ciencias / Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C. ISSN: 978-607-9217-04-4. Disponible en: http://www.ianas.org/water/book/diagnostico_del_agua_en_las_americas.pdf [Consultado el 01/VII/2015].
- IFRC, 2011. La problemática mundial del agua y la brecha urbana. Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. [en línea] Disponible en: <http://www.ifrc.org/es/noticias/discursos-y-articulos-de-opinion/articulos-de-opinion/2011/la-problematica-mundial-del-agua-y-la-brecha-urbana/> [Consultado el 01/VII/2015].
- INEGI, 2010. Estado Ecológico de Ríos y Vegetación Ribereña en el Contexto de la Nueva Ley General de Aguas de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 30, núm.4, pp. 429-436, ISSN: 0188-4999. Universidad Nacional Autónoma de México [en línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/estadisticas/2010/ambiente10.asp?s=inegi&c=2761&ep=36> [Consultado el 01/VII/2015].
- Ingber S., Buser M., Pohl H., Abadin H., H. Murray H., y Scinicariello F., 2013. DDT/DDE and breast cancer: A meta-analysis. Elsevier. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 67, pp. 421-433.
- Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM, 2015. *Legislación Federal. Ley de Aguas Nacionales Información jurídica*. UNAM. [en línea] Disponible en: <http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/fed/15/> [Consultado 01/V/2015].
- Jacobo-Marín D., 2015. Derecho Humano al Agua. UNAM. *Impluvium*. 4. [en línea] Disponible en: <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero04.pdf> [Consultado 01/V/2015].
- Ju-Nam Y., y Lead J., 2008. Manufactured nanoparticles: An overview of their chemistry, interactions and potential Environmental implications. *Science of the Total Environment*. 400, pp. 396-414.
- Julshamn K., Valdernes S., Duinkera A., Nedreaas K., Sundet J., y Maage A., 2015. Heavy metals and POPs in red king crab from the Barents Sea. *Food Chemistry*. 167, pp. 401-417.
- Jürgens M., Crosse J., Hamilton P., Johnson A., y Jones K., 2016. The long shadow of our chemical past – High DDT concentrations in fish near a former agrochemicals factory in England. *Chemosphere*. 162, pp. 333-344.
- Kandra H.S., McCarthy D., Fletcher T.D. y Deletic A., 2014. Assessment of clogging phenomena in granular filter media used for stormwater treatment. *Journal of Hydrology*. 512, pp. 518-527.
- Katukiza A., Ronteltap M., Niwagaba C., Kansiiime F. y Lens P., 2014. A two-step crushed lava rock filter unit for grey water treatment at household level in an urban slum. *Nuclear Engineering and Design* 236, pp. 914-930.
- Kavitha, D., y Namasivayam C., 2007. Experimental and kinetic studies on methylene blue adsorption by coir pith carbon. *Bioresour. Technol.* 98(1), pp. 14-21.

- Kayser G.L., Amjad U., Dalcanale F., Bartram J., y Bentley M.E., 2015. Drinking water quality governance: A comparative case study of Brazil, Ecuador, and Malawi. *Environmental Science and Policy* 48 pp. 186-195.
- Kehinde F. O., y Aziz H. A., 2016. Classical optimization of process variables in the treatment of real textile wastewater using clinoptilolite. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4, pp. 1242-1247.
- Kim E.J., Park Y.M., Park J.E., y Kim J., 2014. Distributions of new Stockholm Convention POPs in soils across South Korea. *Science of Total Environment* 476-477, pp. 327-335.
- Kramer A., Wolf A.T., Carius A., y Dabelko G.D., 2013. Los problemas relacionados con el agua pueden desestabilizar comunidades. UNESCO. *A World of Science*. (11) 1. [en línea] Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/resources/periodical/a-world-of-science/vol-11-n-1/in-focus-water-cooperation/local-instability/> [Consultado 02/IV/2015].
- Lagergren S. Y., 1898. Zur Theorie der sogenannten Adsorption gelöster Stoffe. *Handlingar* 24(4), pp.1-39.
- Langmuir I., 1916. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. part I solids. *J. Am. Chem. Soc.* 38, pp. 2221-2295.
- Lau M.H., Leung K.M., Wong S.W., Wang H., y Yan Z.G., 2012. Environmental policy, legislation and management of persistent organic pollutants (POPs) in China. *Environmental Pollution* 165, pp. 182-192.
- Lavorato G., Lima JR. E., Troiani H., Zysler R., y Winkler E., 2015. Exchange-coupling in thermal annealed biomagnetic core/Shell nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds* 633, pp. 333-337.
- Ledeo O., Castro H., González R., De Sousa F., Linares A., y De Oliveira M., 2010. Aplicación de la Microscopía Electrónica de Barrido en la Caracterización de la Poliapatita. *Revista CENIC. Ciencias Químicas* 41, pp. 1-6. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana.
- Lee C., Boe-Hansen R. Musovic S., Smets B., Albrechtsen H. y Binning P., 2014. Effects of dynamic operating conditions on nitrification in biological rapid sand filters for drinking water treatment. *Water Research*. 64, pp. 226-236.
- Lee J., Zheng X., Roberts R.C., y Feng P.X.L., 2015. Scanning electron microscopy characterization of structural features in suspended and non-suspended graphene by customized CVD growth. *Diamond & Related Materials*. 54, pp. 64-73.
- Leyva-Ramos R., Aguilar-Armenta G., González-Gutiérrez L., Guerrero-Coronado R. M. y Mendoza Barrón, J., 2004. Ammonia exchange on clinoptilolite from mineral deposits located in Mexico, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 79, pp. 651-657.
- Leyva-Ramos R., Medellín-Castillo N.A., Guerrero-Coronado R.M., Berber Mendoza M.S., Aragón-Piña A., y Jacobo Azuara A., 2005. Intercambio iónico de plata (I) en solución acuosa sobre clinoptilolita. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 21(4), pp. 193-200.
- Leyva-Ramos R., Monsivais-Rocha J. E., Aragón-Piña A., Berber-Mendoza M. S., y Guerrero-Barrón J., 2010. Removal of ammonium from aqueous solution by ion Exchange on natural and modified chabazite. *J. Environ. Manage* 91, pp. 2662-2668.
- Li Z., Wang Y., Ni Y., y Kokot S., 2014. Unmodified silver nanoparticles for rapid analysis of the organophosphorus pesticide, dipterex, often found in different waters. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 193, pp. 205-211.
- Lieu K., Williford C. W. Jr. y Reynolds W. R., 1988. Cation exchange characteristics of gulf coast clinoptilolite. Occurrence, properties and utilization of natural zeolites. (D. Kalló, y H.S. Sherry, Eds.) *Akadémiai Kiadó*. Budapest. Hungría, pp. 449-461.
- Liu P., Yao Y., Zhang X. y Wang J., 2011. Rare Earth Metals Ion-exchanged β -Zeolites as Supports of Platinum Catalysts for Hydroisomerization of *n*-Heptane. *Catalysis, Kinetics and Reactors. Chinese Journal of Chemical Engineering*. 19, pp. 278-284.
- Logeswari P., Silambarasan S., y Abraham J., 2015. Synthesis of silver nanoparticles using plants extract and analysis of their antimicrobial property. King Saud Aniversity. *Journal of Saudi Chemical Society*. 19, pp. 311-317.
- Lohman R., Breivik K., Dachs J., y Muir D., 2007. Global fate of POPs: current and future research directions. *Environ. Pollut.* 150, 150-165.
- Lonati G., Cernuschi S., Giugliano M., y Grosso M., 2007. Health risk analysis of PCDD/F emissions from MSW incineration: comparison of probabilistic and deterministic approaches. *Chemosphere*. 67, pp. S334-S343.
- Lopes C., Henrick P., Mignoni M., Emmerich D., Magalhães F., Amorim S., y Pergher S., 2015. TiO₂-TON zeolite synthesis using an ionic liquid as a structure-directing agent. *Microporous and Mesoporous Materials* 213, pp. 78-84.
- Masters A., y Maschmeyer T., 2011. Zeolites-From curiosity to cornerstone. *Microporous and Mesoporous Materials*. 142, pp. 423-438.
- Matache M. L., Hura C., y David I. G., 2016. Non-invasive monitoring of organohalogen compounds in eggshells and feathers of birds from the Lower Prut Floodplain Natural Park in Romania. *Procedia Environmental Sciences*. 32, pp. 49-58.
- McGoldrick D. J., y Murphy E. W., 2010. Concentration and distribution of contaminants in lake trout and walleye from the Laurentian Great Lakes (2008-2012). *Environmental Pollution*. 217, pp. 85-96.

- McCormick N., Porter M., y Walsh M., 2010. Desinfection by-products in filter backwash water: implications to water quality in recycle designs. *Water Research*. 44, pp. 4581-4589.
- Mehdizadeh S., Sadjadi S., Ahmadi S., y Outokesh M., 2014. Removal of heavy metals from aqueous solution using platinum nanoparticles/Zeolite-4A. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 12-7, pp. 1-7.
- Melgarejo J., Provenza J., Galí S., y Llovet X., 2010. Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 62, pp. 1-23.
- Meeks N. Cartwright C., Meek A., y Mungiatti A., 2012. *Historical technology, materials and conservation: SEM and Microanalysis*. Londres, British Museum y Archetype Publications, 224 pp.
- Mendoza M., Quevedo A., Bravo A., Flores H., De La Isla De Bauer M. De L., Gavi R., y Zamora B.P., 2014. Estado Ecológico de Ríos y Vegetación Ribereña en el Contexto de la Nueva Ley General de Aguas de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30 (4), pp. 429-436, ISSN: 0188-4999. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mohanraj V. y Chen Y., 2006. Nanoparticles-A review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 5, pp. 561-573.
- Munafo P., Quagliarini E., Goffredo G., Bondioli F., y Licciulli A., 2014. Durability of nano-engineered TiO₂ self-cleaning treatments on limestone. *Construction and Building Materials* 65, pp. 218-231.
- Murillo Y. S, Giraldo L., y Moreno, J. C., 2011. Determinación de la cinética de adsorción de 2,4-dinitrofenol en carbonizado de hueso bovino por espectrofotometría UV-VIS. *Rev. Colomb. Quím.* 40(1), pp. 91-103.
- Murphy H.M., McBean E.A., y Farahbakhsh K., 2009. Appropriate technology - A comprehensive approach for water and sanitation in the developing world. *Technology in Society* 31 (2), pp. 158-167.
- Nakano S., Noguchi T., Takekoshi H., Suzuki G., y Nakano M., 2005. Maternal-fetal distribution and transfer of dioxins in pregnant women in Japan, and attempts to reduce maternal transfer with *Chlorella (Chlorella pyrenoidosa)* supplements. *Chemosphere* 61, pp. 1244-1255.
- Nosrati R., Olad A., y Nofouzi K., 2015. A self-cleaning coating based on commercial grade polyacrylic latex modified by TiO₂/Ag-exchanged-zeolite-a nanocomposite. *Applied Surface Science* 346, pp. 543-553.
- Oliveira E., Núñez C., Santos H., Fernández J., Fernández A., Capelo J., y Lodeiro C., 2015. Revisiting the use of gold and silver functionalized nanoparticles as colorimetric and fluorometric chemosensors for metal ions. *Sensors and Actuators B: Chemical* 212, 297-328.
- OMS, 2015. *Acerca de la OMS*. Organización Mundial de la Salud. [en línea] Disponible en: <http://www.who.int/about/es/> [Consultado el 10/VI/2015].
- Önby L., Pakade V., Mattiasson B., y Kirsebom H., 2012. Polymer composite adsorbents using particles of molecularly imprinted polymers or aluminum oxide nanoparticles for treatment of arsenic contaminated waters. *Water Research* 46, pp. 4111-4120.
- ONU MUJERES, 2013. *Un objetivo transformador e independiente para lograr la igualdad de género, los derechos y el empoderamiento de las mujeres: imperativos y componentes claves. En el contexto del marco de desarrollo post-2015 y los objetivos de desarrollo sostenible*. [pdf]. Disponible en http://www.unwomen.org/es/what-we-do/~/_media/1BC05D2A7F7A4EF49E88F9FF05BE7002.ashx [Consultado el 30/VI/2015].
- ONU y PNUMA, 2007. *Guía para el plan de vigilancia mundial de contaminantes orgánicos persistentes*. [pdf]. Disponible en http://www.pops.int/documents/meetings/effeval/guidance_sp/guidance_esp.pdf [Consultado el 30/VI/2015].
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2011. *Agua y Saneamiento: Evidencias para políticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública*. [pdf] Oficina Sanitaria Panamericana. Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud. ISBN: 979-92-75-31631-3. Disponible en http://www.paho.org/tierra/images/pdf/agua_y_saneamiento_web.pdf [consultado el 25/VI/2015].
- Ostrooumov, M. F., Ortiz H., Corona Ch. P., y Zou G., 2003. Zeolitas de México: Diversidad mineralógica y aplicaciones. Sociedad Mexicana de Mineralogía.
- Pang W., Gao N., y Xia S., 2010. Removal of DDT in drinking water using nanofiltration process. *Desalination*. 250, pp. 553-556.
- Park J. H., Cha E. S., Ko Y., Hwang M. S., Hong J. H., y Lee W. J., 2014. Exposure to Dichlorodiphenyltrichloroethane and the Risk of Breast Cancer: A Systematic Review and Meta-analysis. *Osong Public Health Res. Perspect*. 5 (2), pp. 77-84.
- Pepe F., Gennaro B., Aprea P., y Caputo D., 2013. Natural zeolites for heavy metals removal from aqueous solutions: Modeling of the fixed bed Ba²⁺/Na⁺ ion-exchange process using a mixed phillipsite/chabazita-rich tuff. *Chemical engineering Journal*. 219, pp. 37-42.
- Petranovskii V., Pestryakov A., Kazantseva L., Cruz J., y Kryazhov A., 2008. Formation of catalytically active copper and nickel nanoparticles in natural zeolites. *Studies in Surface. Science and Catalysis*. 174 Part A, pp. 513-516.
- Pierella L., Saux C., Caglieri S., Bertorello H., y Bercoff P., 2008. Catalytic activity and properties of CO-ZSM-5 zeolites prepared by different methods. *Applied Catalysis A: General*. 347, pp. 55-61.

- PNUMA, 2005. *Eliminando los COP del mundo: guía del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*. [pdf] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Secretaría del Convenio de Estocolmo. Unidad de Información para Convenios del PNUMA. Disponible en: http://www.pops.int/documents/guidance/beg_guide_langs/sp_guide.pdf [Consultado 10/IV/2015].
- Polanco A. G., Navarro J. A., Solorio J., Mena G. J., Marrufo J., y Del Valls T. A., 2015. Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of cenotes in Yucatán, México. *Water and Environmental Journal*. 29, pp. 140-150.
- Quagliarini E., Bondioli F., Goffredo G., Cordoni C., y Munafò P., 2012. Self-cleaning and de-polluting Stone Surfaces: TiO₂ nanoparticles for limestone. *Construction and Building Materials*. 37, pp. 51-57.
- Qiu X., Zhu T., Li J., Pan H., Li Q., Miao G., y Gong J., 2004. Organochlorine pesticides in the air around the Taihu Lake. *China. Environ. Sci. Technol.* 38, pp. 1368-1374.
- Rajan R., Chandran K., Harper S., Yun S. P., y Kalaichelvan T., 2015. Plant extract synthesized silver nanoparticles: An ongoing source of novel biocompatible Materials. *Industrial Crops and Products*. 70, pp. 356-373.
- Raj K., Prasad K.K. y Barsal N.K., 2006. Radioactive waste management practices in India. *Nuclear Engineering and Design*. 236, pp. 914-930.
- Rakhshan N. y Pakisehm M., 2015. *Removal of triazines from water using a novel OA modified SiO₂/PA/PSf nano-composite membrane*. [pdf] Separation and Purification Technology. Manuscript. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2015.04.013> [Consultado 02/IV/2015].
- Ramírez-Aparicio J., Samaniego-Benitez J. E., y Ramírez-Bon R., 2012. TiO₂-chabazite semiconductor composites for photocatalytic degradation of rhodamine under sunlight irradiation. *Solarenergy* 139, pp. 258-265.
- Schönlag J., Pizzolatti B., Jangada V., De Souza F. y Sens M., 2015. Water quality produced by polystyrene granules as a media filter on rapid filters. *Journal of Water Process Engineering*. 5, pp. 118-126.
- Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2011. *Convenio de Estocolmo. 10 aniversario. Los principales logros de estos 10 años*. [pdf] Naciones Unidas. PNUMA. Convenio de Estocolmo. Disponible en: <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-PAWA-SC10-Achievementbooklet.Sp.pdf> [Consultado el 01/VII/2015].
- SEMARNAT, 2007. *Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo*. [pdf] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: http://www.pops.int/documents/implementation/nips/submissions/Mexico_sp.pdf [Consultado el 02/IV/2015].
- Sepúlveda, 2009. El arsénico en la contaminación de aguas subterráneas. *Ciencia UANL*. 12 (3), pp. 239-244. Universidad Autónoma de Nuevo León. ISSN: 1405-9177.
- Shakur H., Rezaee K., Abdi M., y Azimi G., 2016. Influence of monovalent cations and CuO nanoparticles on X-nano-zeolite in uranium anionic species separation from contaminated drinking water. *Chinesse Journal of Chemical Engineering*.
- Sharma B., Bharat G., Tayal S., Nizzeretto L., y Larssen T., 2014. The legal framework to manage chemical pollution in India and the lesson from the Persistent Organic Pollutants (POPs). *Science of the Total Environment* 490 pp. 733-747.
- Shukla S., Jadaun A., Arora V., Sinha R., Biyanie N., y Jain V., 2015. In vitro toxicity assessment of chitosan oligosaccharide coated iron oxide nanoparticles. *Toxicology Reports* 2, pp.27-39.
- Soria M. de J., Carrillo F. R., Guevara I. A., y Salinas E., 2012. Nanopartículas de plata soportadas en zeolitas naturales. *CienciCierto* 31 [en línea] <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierto/CC31/7.html> 16/02/17.
- Soupioni M., Symeopoulos B., Athanasiou A., Gioulis A., Koutsoukos P. y Tsolis-Katagas P., 1999. A preliminary study of mercury uptake by greek zeoliferous Rock. En: *Natural microporous in environmental technology* (P. Misaelides, F. Macasek, T.J. Pinnavaia y C. Collela, Eds.). *Kluwer Academic Publishers*. Dordrecht, Holanda, pp. 365-369.
- Spiller M., Vreeburg J.H.G., Leusbrock I. y Zeeman G., 2015. Flexible design in water and wastewater engineering-Definitions, literature and decision guide. *Journal of Environmental Management* 149, pp. 271-281.
- Stoler J., Tutu R.A., y Winslow K., 2015. Piped water flows but sachet consumption grows: The paradoxical drinking water landscape of an urban slum in Ashaiman, Ghana. *Habitat International*, 47 pp. 52-60.
- Tang S. y Lo I., 2013. Review. Magnetic nanoparticles: Essential factors for sustainable environmental applications. *Water Research*. 47, pp. 2613-2632.
- Tello L.F., 2008. *El Acceso al Agua Potable como Derecho Humano*. [pdf] Comisión Nacional de los Derechos Humanos. Primera Edición. ISBN: 978-970-644-549-0. Imprenta Juventud, S.A. de C.V. Disponible en: <http://www.cdhezac.org.mx/pdfbiblio/38.pdf> [Consultado el 30/-VI/2015].
- Thatai S., Khurana P., Boken J., Prasad S., y Kumar D., 2014. Nanoparticles and core-shell nanocomposito based new generation water remediation materials and analytical techniques: A review. *Microchemical Journal*. 116, pp. 62-76.

- Thomas J. E., y Gohil H. (2011). Microcosm studies on the degradation of o,p'-and p,p'-DDT, DDE and DDD in a muck soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 27(3), pp. 619-625.
- Tolaymat T., El Badawy A., Sequeira R., y Genaidy A., 2015. A system-of-systems approach as a broad and integrated paradigm for sustainable engineered nanomaterials. *Sci. Total Environ.* 511, pp. 595-607.
- Tolaymat T., Genaidy A., Abdelraheem W., Dionysiou D., y Andersen C., 2016. The effects of metallic engineered nanoparticles upon plant systems: An analytic examination of scientific evidence. *Science of the Total Environment* 579(1), pp. 93-106.
- Torres T., y Mora C.E., 2010. Aplicación de la microscopía electrónica de barrido en la evaluación de dos materias primas cosméticas como restauradoras de la cutícula capilar. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.* 39 (1), pp. 5-20.
- Tschernich R. W., 1992. *Zeolites of the World*. Geoscience Press, Phoenix, Ariz., EUA.
- Turusov V, Rakitsky V, y Tomatis L., 2002. Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): ubiquity, persistence and risks. *Environ Health Persp* 110, pp. 125-128.
- Tsygankov V. Y., y Boyarova M. D., 2015. Sample Preparation Method for the Determination of Organochlorine Pesticides in Aquatic Organisms by Gas Chromatography. *Achievements in the Life Sciences* 9, pp. 65-68.
- UNEP, 2010. *Las Reuniones Simultáneas Extraordinarias de las Conferencias de las Partes de los Convenios de Basilea, Rotterdam y Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*. [en línea] Disponible en: http://excops.unep.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=73:the-stockholm-convention&catid=42:the-conventions&Itemid=27&lang=es [Consultado 10/V/2015].
- Unión Europea, 2015. *Medio ambiente*. [en línea] Disponible en: http://europa.eu/pol/env/index_es.htm [Consultado 10/V/2015].
- Urban Urgency, 2009. Water Caucus Summary. World Water Council (WWC). Marseille, France. [pdf]. Disponible en: http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/world_water_council/documents_old/Library/UrbanUrgency.pdf [Consultado el 30/VI/2015].
- Urbina-Sánchez E., Baca-Castillo G. A., Núñez-Escobar R., Colinas-León M. T., Tijerino-Chávez L., y Tirado-Torres J. L., 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con K+, Ca2+, OMg2+ y diferente granulometría. *Agrociencia* 40, pp. 419-429.
- Van Phu D., Quoc L., Duy N., y Hien N., 2013. Study of incorporation of silver nanoparticles onto PE-g-PAAC non woven fabric by γ -irradiation for water treatment. *Radiation Physics and Chemistry*. 88, pp. 90-94.
- Vázquez G.A., Lucho-Constantino C., Coronel C., y Beltrán I., 2014. Esbozo histórico de las Ciencias Ambientales. *Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICOI*, año 3, No. 3. ISSN: 2007-6363.
- Venier M., e Hites R., 2014. DDT y HCH, two discontinued organochlorine insecticides in the Great Lakes region: Isomer trends and sources. *Environmental International*. 69, pp. 159-165.
- Vittenet J., Rodríguez J., Petit E., Cot D., Mendret J., Galarneau A., y Brosillon S., 2014. Removal of 2,4-dimethylphenol pollutant in water by ozonation catalyzed by SOD, LTA, FAU-X zeolites particles obtained by pseudomorphic transformation (binderless). *Microporous and Mesoporous Materials*. 189, pp. 200-209.
- Walker T.R., MacAskill D., y Weaver P., 2013. Environmental recovery in Sidney Harbour, Nova Scotia: Evidence of natural and anthropogenic sediment capping. *Marine Pollution Bulletin*. 74, pp. 446-452.
- Wang N., Zhou L., Guo J., Ye Q., Lin J., y Yuan J., 2014. Adsorption of environmental pollutants using magnetic hybrid nanoparticles modified with β -cyclodextrin. *Applied Surface Science*. 305, pp. 267-27.
- Weber M. A., Barbaruck K. A. y Westfall D. G. (1983). Ammonium adsorption by a zeolite in a static and dynamic system. *J. Environ. Qual.* 12, pp. 549-552.
- Wei D., Kameya T., y Urano K., 2007. Environmental management of pesticidal POPs in China: Past, present and future. *Environmental International*. 33 pp. 894-902.
- Weiss P. T., LeFevre G., y Gulliver J. S., 2008. Contamination of soil and Groundwater Due to Stormwater infiltration Practices. A Literature Review. University of Minnesota. Stormwater Assessment Project. No. 515.
- WHO y UNICEF, 2006. Health through safe drinking water and basic sanitation. [pdf] Disponible en: http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/1198239354-JMP_06.pdf [Consultado el 30/VI/2015].
- Worobiec A., Potgieter-Vermaak S., Brooker A., Darchuk L., Stefaniak E., y Grieken R., 2010. Interfaced SEM/EDX and micro-Raman Spectrometry for characterization of heterogeneous environmental particles-Fundamental and practical challenges. *Microchemical Journal*. 94, pp. 65-72.
- Wu H., Zhang J., Ngo H.H., Guo W., Hu Z., Liang S., Fan J. y Liu H., 2015. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design an operation. *Bioresource Technology*. 175, pp. 594-601.
- Wu X., y Jia W., 2014. Biomass-derived multifunctional magnetite carbon aerogel nanocomposites for recyclable sequestration of ionizable aromatic organic pollutants. *Chemical Engineering Journal*. 245, pp. 210-216.
- Xing Y.N., Guo Y., Xie M., Shen R.L., y Zeng E.Y., 2009. Detection of DDT and its metabolites in two estuaries of South China using a SPME-based device: First report of p,p'-DDMU in water column. *Environmental Pollution*. 157, pp. 1382-1387.

- Xu P., Lu J., Aydin C., Debeve L.M., Browning N.D., Chen C.Y., y Gates B.C., 2015. Imaging individual lanthanum atoms in zeolite Y by scanning transmission electron microscopy: Evidence of lanthanum pair sites. *Microporous and Mesoporous Materials*. 213, pp. 95-99.
- Xu W., Wang X., y Cai Z., 2013. Analytical chemistry of the persistent organic pollutants identified in the Stockholm Convention: a review. *Analytica Chimica Acta*. 790, pp. 1-13.
- Yang W., Song J., Higano Y., y Tang J., 2015. Exploration and assessment of optimal policy combination for total water pollution control with a dynamic simulation model. *Journal of Cleaner Production*. 102, pp. 342-352.
- Yang Y., Gutsol A., Fridman A., y Cho Y., 2009. Removal of CaCO₃ scales on a filter membrane using plasma discharge in water. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 52, pp. 4901-4906.
- Yeung K., y Han W., 2014. Zeolites and Mesoporous materials in fuel cell applications. *Catalysis Today*. 236, pp. 182-205.
- Zaborowski M., Szmigiel D., Gotszalk T., Ivanova K., Sarov Y., Ivanov T., Volland B., Rangelow I., y Grabiec R., 2006. Nano-line width control and standards using Lateral Pattern Definition technique. *Microelectronic Engineering*. 83, pp. 1555-1558.
- Zheng Y., Walker H., y Zhu Q., 2017. Reduction of nitrate by Na Y zeolite supported Fe, Cu/Fe and Mn/Fe nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials* 324 Part B, pp. 605-616.
- Zhang H., Lu Y., Shi Y., Wang T., Xing Y., y Dawson R.W., 2005. Legal framework related to persistent organic pollutants (POPs) management in China. *Environmental Science & Policy*. 8, pp. 153-160.
- Ziv A., 2009. Biodegradación de compuestos orgánicos persistentes (COP): I. El caso de los bifenilos policlorados (PCB). *Acta biol. Colomb.* 14 (1), pp. 57-88.
- Zhou, Q., Wang J., Meng B., Cheng J., Lin G., Chen J., Zhen D., y Yu Y., 2013. Distribution and sources of organochlorine pesticides in agricultural soils from central China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 93, pp. 163-170.