



**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

**Facultad de Ingeniería Química**



**CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE ENDOSULFÁN EN LA  
ZEOLITA MORDENITA POR CROMATOGRAFÍA DE  
GASES INVERSA**

**TESIS**

Para obtener el título de:

**LICENCIADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Presenta:

**JOSUE FERNANDO AQUINO MORALES**

Director: Dr. Miguel Ángel Hernández Espinosa

Codirectora: Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández

Fecha: Enero 2024

## Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	4
Justificación.....	5
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos .....	5
Hipótesis.....	6
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>1.1. Plagas</b> .....	7
<b>1.2. Plaguicidas</b> .....	7
<b>1.2.1. Plaguicidas organoclorados</b> .....	8
<b>1.3. Endosulfán</b> .....	8
<b>1.3.1. Generalidades</b> .....	8
<b>1.3.2. Usos</b> .....	10
<b>1.3.4. Sitios donde se aplicó endosulfán en México</b> .....	10
<b>1.4. Efectos negativos del endosulfán</b> .....	11
<b>1.4.1. Efectos a la salud</b> .....	11
<b>1.4.2. Toxicidad y límites máximos permisibles de endosulfán</b> .....	12
<b>1.4.3. Endosulfán en alimentos</b> .....	14
<b>1.4.4. Efectos en el ambiente</b> .....	14
<b>1.5. Legislación del endosulfán</b> .....	15
<b>1.6. Compuestos Orgánicos Persistentes (COP)</b> .....	16
<b>1.7. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)</b> .....	17
<b>1.8. Cromatografía de gases</b> .....	17
<b>1.8.1. Cromatografía de gases inversa</b> .....	17
<b>1.9. Adsorción</b> .....	17
<b>1.10. Isoterma de adsorción</b> .....	18
<b>1.10.1. Clasificación de isotermas</b> .....	18
<b>1.10.2. Ciclo de Histéresis</b> .....	20
<b>1.12. Isoterma de Freundlich</b> .....	22
<b>1.13. Constante de Henry</b> .....	23
<b>1.14. Materiales porosos</b> .....	23
<b>1.15. Zeolitas</b> .....	24
<b>1.16. Zeolita Mordenita</b> .....	24

1.17. Técnicas experimentales .....	26
1.17.1. Difracción de Rayos X (DRX) .....	26
1.17.2. Microscopía electrónica de Barrido (SEM) .....	27
1.17.3. Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) .....	27
1.17.4 Adsorción de N <sub>2</sub> .....	27
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>28</b>
2.1. Selección e identificación del material poroso .....	28
2.2. Definición del tamaño de partícula .....	29
2.3. Activación y tratamiento de la muestra .....	29
2.4. Intercambio catiónico con solución de plata .....	30
2.5. Tratamiento térmico .....	31
2.6. Empacar la columna .....	31
2.7. Acondicionar el cromatógrafo.....	32
2.8. Inyección de endosulfán.....	33
2.9. Técnicas experimentales .....	33
2.9.1. DRX.....	33
2.9.2. SEM.....	34
2.9.3. EDS.....	34
2.9.4. Adsorción de N <sub>2</sub> .....	34
2.9.5. Adsorción de endosulfán.....	34
2.9.6. Métodos de cálculo .....	34
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
3.1. EDS.....	35
3.2. SEM .....	36
3.3. Adsorción de N <sub>2</sub> .....	37
3.4. Adsorción de Endosulfán.....	38
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>47</b>
<b>Anexo I. ....</b>	<b>47</b>
<b>Anexo II.....</b>	<b>55</b>

## INTRODUCCIÓN

La agricultura en varios estados de México es caracterizada por ser una de las áreas más desarrolladas en el país, poseen una gran superficie de cultivo y modernos sistemas de irrigación. Para realizar esta actividad y mantener las demandas del mercado actual es necesario un constante uso de agroquímicos ocasionando la degradación del suelo, grandes niveles de contaminación ambiental y, sobre todo, efectos adversos a la salud de los seres vivos (Hernández, *et al.* 2005). Los suelos para uso agrícola son susceptibles a la acumulación de pesticidas debido al proceso de adsorción con la materia orgánica y a la retención de agua (Hernández, *et al.* 2013).

La acumulación de pesticidas en los suelos afecta las funciones de producción biológica, protección ambiental y en la salud humana, dentro de los compuestos orgánico volátiles llamados VOC's, por sus siglas en inglés, existe un grupo muy importante de estos compuestos muy importantes llamados hidrocarburos clorados con formula  $C_xH_yCl_z$  (Thommes, 2015).

Este tipo de compuestos son ampliamente usados en el sector agrícola como pesticidas y dentro de ellos sobresale el endosulfán. Este compuesto es un pesticida clorado ( $C_9H_6Cl_6O_3S$ ) del grupo de los ciclodienos. Presenta una gran toxicidad, es muy estable en el medio ambiente y requiere mucho tiempo para degradarse en formas menos toxicas (Diaz, 2004). La adsorción en superficies muy activas y la catálisis heterogénea son los procesos más efectivos para la remoción de este tipo de compuestos. Aunque la adsorción se puede llevar a cabo en una gran cantidad de materiales muy pocos de estos materiales poseen poros de dimensiones moleculares para realizar una adsorción de estos compuestos. Dentro de los materiales propuestos exitosamente están las zeolitas, carbones, MCM, MOF's y algunos óxidos inorgánicos (Rouquerol, 2004).

La novedad del trabajo presentado a continuación está basada en la aplicación de zeolitas mordenita natura t modificada químicamente frente al herbicida endosulfán en condiciones dinámicas.

## Justificación

La regulación y legislación de endosulfán en México es reciente, por lo que se ha utilizado de manera no legal, teniendo afectaciones no solo al ambiente, sino también a la salud del ser humano (Secretaría de economía, 2019).

Debido a que existen grandes cantidades de residuos de este compuesto organoclorado en el suelo, agua y aire; alimentos y recursos que forman parte de la nutrición de la comunidad, son portadores de este compuesto que en consecuencia generan un problema de bioacumulación en el cuerpo humano. Gracias a la persistencia, capacidad de desplazamiento y capacidad volátil, hace de este compuesto un riesgo mayor, ya que permite expandirse a más lugares, aumentando su impacto. Por consiguiente, es necesario buscar diferentes alternativas de solución para evitar que siga teniendo un impacto negativo en el ambiente (Betancur, 2015).

Investigadores han propuesto el uso de zeolitas, debido a que tienen propiedades de adsorción, ya que, pueden adsorber moléculas en su área interna siempre que el tamaño de la molécula sea el adecuado para poder entrar por estos poros al interior de la zeolita. Esto lo hace un excelente material para poder adsorber diferentes contaminantes, en este caso endosulfán (García et, al. 2018).

## Objetivo general

Analizar la capacidad de adsorción de endosulfan en una zeolita Mordenita, natural y modificada químicamente con dilución de HCl y AgNO<sub>3</sub> que permita la disminución del contaminante, por medio de la cromatografía de gases.

## Objetivos específicos

- Definir las características de la composición del material zeolítico utilizado en la experimentación por EDS.

- Confirmar la presencia de clusters de Ag con las diferentes técnicas de caracterización, al tratar la zeolita con HCl y AgNO<sub>3</sub>
- Obtener las isothermas de adsorción por cromatografía de gases, para estimar la capacidad de adsorción de las zeolitas estudiadas, a través de las ecuaciones pertinentes: Freundlich y Langmuir.
- Obtener la entalpía isostérica de adsorción, usando las diferentes muestras como fase estacionaria del sistema cromatográfico.

## Hipótesis

La mordenita es una zeolita de poro pequeño y grande con una gran porosidad que permite la adsorción del endosulfán.

## **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO**

### **1.1.Plagas**

Se dice plaga cuando una planta, animal o un microorganismo, incrementa su densidad en niveles anormales y en consecuencia de ello, afecta de manera directa o indirecta a la especie humana, ya sea en la salud, comodidad, daña la infraestructura en la que habita o los predios, agrícolas, ganaderos o forestales. Aunque algunos sean potencialmente más dañinos que otros, ninguno es estrictamente malo (Brechtel, 2004).

Hasta un 40 por ciento agrícola mundial se pierde por causa de diferentes plagas a nivel mundial. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura denomina plaga, cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO, 2006).

Las enfermedades y plagas en el sector agrícola provocan diversos tipos y montos de pérdidas, de acuerdo con las plantas o productos que se obtienen de ellas, así como las causas de diferentes enfermedades, estas reducen las cosechas desmejoran la calidad del producto, limitan la disponibilidad de alimentos y materias primas (SIAP, 2016).

### **1.2.Plaguicidas**

A partir de la Revolución Industrial, hubo un crecimiento de las zonas urbanas con una dependencia de las zonas rurales para la obtención de alimentos, lo cual requería de un incremento en la producción, almacenamiento y protección de los mismos, en consecuencia inicio un incremento sustancial de producción de sustancias químicas como parte del sostenimiento del desarrollo industrial y de la agricultura, por lo que la rama química presentó al mercado sustancias de toxicidad inespecífica pero de bajo costo. (del Puerto et, al. 2014)

El uso de estos productos en los cultivos comporta el riesgo de exponer a los consumidores a sustancias nocivas a través de los residuos que quedan tras la elaboración del cultivo. La FAO define como plaguicida como cualquier sustancia destinada a impedir, destruir, atraer,

repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos (FAO, 2023).

### **1.2.1. Plaguicidas organoclorados**

Los plaguicidas organoclorados son compuestos que fueron ampliamente utilizados a nivel mundial para actividades agrícolas y para el control de vectores de enfermedades. Debido a la estructura química de la molécula, son compuestos resistentes a la degradación ambiental y metabólica que se refleja en su persistencia en el ambiente. En consecuencia, la exposición a sus residuos procedentes de aplicaciones pasadas puede llegar a ser crónica. A pesar de su lenta degradación en el ambiente, frecuentemente se biotransforman en metabolitos lipofílicos que también son persistentes. Debido a estas propiedades, los residuos de plaguicidas organoclorados y sus metabolitos se han determinado en todos los sistemas que componen el ambiente, incluso llegando aquellos que están muy alejados del sitio original de su liberación en el ambiente. Por esto sus propiedades lipofílicas se almacenan en tejidos ricos en grasa y se transportan a través de las grasas y las lipoproteínas circulantes del organismo (Waliszewski, 2013).

## **1.3. Endosulfán**

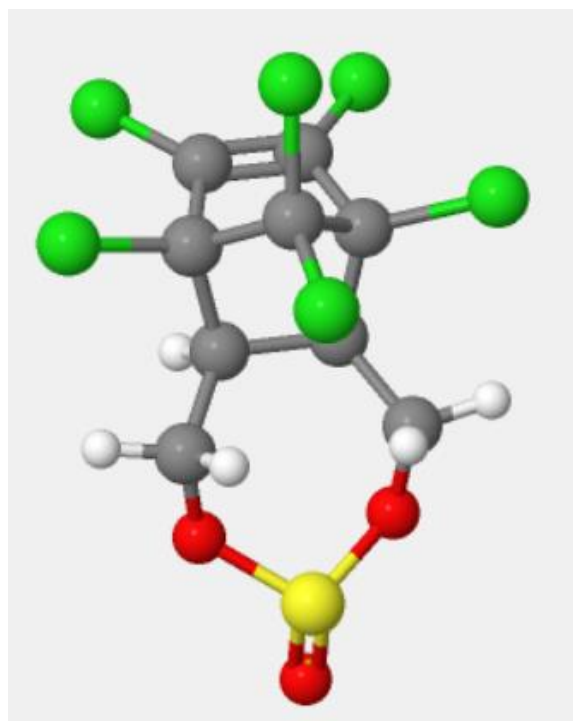
### **1.3.1. Generalidades**

El endosulfán con estructura química con nombre IUPAC de: (1,4,5,6,7,7-hexacloro-8,9,10-trinorborn-5-en-2,3-ilenbismetilen) sulfito, y nombre CAS de: 3-óxido de 6,7,8,9,10,10-hexacloro-1,5,5a,6,9,9ahexahidro-6,9-metano-2,4,3-benzodioxatien 3-óxido; con fórmula molecular de:  $C_9H_6Cl_6O_3S$ . Forma parte de la categoría de plaguicidas y cuenta con diferentes nombres comerciales: Benzoepin, Beosit, Caiman, Callistar, Captus, Chlorthiepin, Cyclodan, Endo 35 EC, Endocel 35 EC, Endocoton, Endofan, Endosan EC, Endosulfan 35 EC, Endozol, FAN 35, Farmoz, FMC 5462, Hildan 35 EC, Insectophene, Kop-thiodan, Malix, Mistral, Nufarm Endosulfan 350EC, Phaser, Plexus, Rocky, Thiodan, Thifor,



Thiofanex, Thiomul, Thiosulfan, Tionel, Termicidol, Tiovel, Thionex, Thimul, Thyonex (Bejarano, 2009)

Fue producido por primera vez por Hoechst (ahora Aventis), sin embargo, sus principales productores fueron: Aako, Aimco Pesticides limited, Bayer Crop Science, Becot Pty Ltd., Coromandel Fertilisers, Drexel, Excel Crop Care, Farmoz Pty Ltd., FMC Corporation, Gowan, Hindustan Insecticides, Huangma Agrochemical Co, Jiangsu Kuaida Agrochemical Co, Jiangsu Xuzhou Shengnong Chemicals Co, Luxan, Makhteshim-Agan, Milenia, Parry, Pivot Ltd., Platte Chemical, Seo Han, Sharda, Zhangjiagang Tianheng Chemical Co (Bejarano, 2009).



**Figura 1. Simulación 3D de la estructura molecular del endosulfán**

El endosulfán se producía en distintas formulaciones, las cuales incluían polvos humectables, gránulos, concentrados emulsificables (CE), suspensiones en cápsula (SC), y polvos secos y líquidos de volumen ultrarreducido (UL). Por lo que, el endosulfán de calidad técnica consiste en una mezcla de isómeros alfa y beta en una proporción aproximada de 2:1 a 7:3.

Es sensible a los ácidos, a los álcalis, poco soluble en agua, fotoestable y no inflamable. Se comercializa como un concentrado y debe contener al menos un 94% de endosulfán de acuerdo con especificaciones de la FAO (Rodríguez, 2016).

### **1.3.2. Usos**

El endosulfán forma parte de la familia de los compuestos organoclorados del grupo de los ciclodienos (Betancur et. al, 2014), siendo un insecticida y acaricida de amplio espectro que tiene un efecto tóxico mortal al entrar en contacto o ser ingerido por los insectos que llegan a ser plaga en distintos cultivos agrícolas (Bejarano *et al.*, 2009).

Este compuesto fue muy utilizado en el territorio nacional en la agricultura, horticultura, huertos frutales, el sector forestal, y viveros. Los principales cultivos en los que se usa endosulfán en México, de acuerdo con los registros de la COFEPRIS se usaba principalmente para la aplicación al follaje en los cultivos de: algodón, berenjena, brócoli, cafeto, calabacita, caña de azúcar, chile, col, col de bruselas, coliflor, fresa, jitomate, lechuga, maíz, manzano, melón, ornamentales, papa, pepino y vid. Según con los Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR, existían 86 empresas registradas para la importación de endosulfán, pero después de su prohibición todas se encuentran con vigencia cancelada (COFEPRIS, 2022).

Se transforma en el ambiente principalmente en sulfato de endosulfán y endosulfán-diol, por lo que su principal producto degradado es el sulfato que cuenta con la misma toxicidad del compuesto original, pero es aún más persistente (Bejarano *et al.*, 2009).

### **1.3.4. Sitios donde se aplicó endosulfán en México**

De acuerdo con el reporte de Residuos de endosulfán en ecosistemas acuáticos de México se han encontrado residuos de endosulfán, en varios sitios del Golfo de México. Este estudio se realizó durante más de 30 años, mostro que estados como Veracruz, Tabasco, Campeche, Sinaloa, Hidalgo, Baja California. Aun no es de acceso público la información, principalmente de donde y cuanto se usa de endosulfán (Rendón & Bejarano, 2010).

La Consulta de Registros Sanitarios de plaguicidas, nutrientes vegetales y LMR, de la secretaria de Economía muestra las diferentes empresas que comercializaban endosulfán en México, aunque el Detalle de registro para importación de endosulfán tiene vigencia cancelada, no hay registro de los sobrantes de endosulfán importado en el país. Las empresas que importaban este compuesto se encuentran alrededor de todo el territorio nacional. Como ya se vio anteriormente fue aplicado en cultivos como alfalfa, algodón, apio, berenjena, brócoli, calabacita, caña de azúcar, chícharo, chile, col, col de Bruselas, coliflor, durazno, fresa, frijol, jitomate, lechuga, maíz, manzano, melón, nogal y cultivos ornamentales. Los cuales son sembrados en diferentes estados de la Republica (secretaria de Economía, 2023).

## **1.4. Efectos negativos del endosulfán**

### **1.4.1. Efectos a la salud**

Debido a su naturaleza lipofílica, es decir, se disuelve en grasas, se puede bioacumular fácilmente en el tejido adiposo del ser humano, como también en suero, semen, leche materna e incluso placenta, y durante la gestación puede ser transferido al feto. (Alarcón, R., 2020) Sin embargo, existen diferentes vías de contacto en las que pueden ingresar fácilmente al sistema sanguíneo, estas vías son por inhalación, absorción dérmica o asimilación gástrica, esta última es provocada por el consumo de alimentos contaminados o por ingesta accidental. En caso de que exista una intoxicación aguda puede provocar daños neurológicos, como irritabilidad, inquietud, espasmos musculares o convulsiones; entre los primeros síntomas de intoxicación por inhalación de este plaguicida se incluye mareo, náuseas, cefalea, vómito, debilidad en las piernas, edema pulmonar y cianosis. Se han reportado casos de envenenamiento agudo al ingerir o en su caso, respirar niveles altos de este plaguicida organoclorado dado que puede afectar directamente el sistema nervioso central y causar hasta la muerte, provoca efectos neurotóxicos por la sobreestimulación del sistema nervioso central (Betancur et. al., 2014).

El endosulfán tiene diversos efectos tóxicos en el sistema nervioso. Apunta a la corteza prefrontal del cerebro que está involucrada en las áreas cognitivas, la atención selectiva, la memoria de trabajo de corta duración, la conducta sexual y la maternal, y la depresión. El endosulfán cambia los niveles de varios neurotransmisores en el cerebro, y en particular bloquea la recepción del neurotransmisor GABA (o ácido gamma-aminobutírico) en las células nerviosas que juega un papel importante en la gestación del desarrollo cerebral. Otros investigadores indican que el endosulfán es estrogénico, y que causa la proliferación de las células de cáncer de mama de MCF-7 que son sensibles al estrógeno humano, la hormona sexual femenina. Hay también evidencias recientes de que el endosulfán está relacionado con efectos neurológicos a largo plazo como la epilepsia y puede incrementar el riesgo de la enfermedad de Parkinson; es también tóxico al sistema inmunológico y lo deprime, así como promotor de respuestas alérgicas (Bejarano, 2009).

El Instituto Nacional de la Salud Ocupacional de la India estableció una relación entre la mayor prevalencia de los trastornos neuroconductuales, las malformaciones congénitas en las niñas y las anomalías relacionadas con el sistema reproductivo masculino y la exposición continua a fumigaciones con endosulfán. El estudio se efectuó con niños de una de las aldeas del Distrito de Kasaragod en el estado de Karala, sur de la India, donde se realizaban fumigaciones de endosulfán de manera aérea. El endosulfán está implicado como la contante o incidencia de efectos adversos para la salud, especialmente en las comunidades rurales del Sudeste de Asia, el Pacífico Sur y algunas partes de África (Harikrisnan & Usha, 2004).

#### **1.4.2. Toxicidad y límites máximos permisibles de endosulfán**

De acuerdo con el documento de orientación para la adopción de decisiones referentes al endosulfán, el cual se basa en la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a productos químicos prohibidos o rigurosamente restringidos, los límites de la exposición al endosulfán según una evaluación de riesgo de la CE.

La ingesta diaria admisible (ADI)= 0,006 mg/kg bw/día esto dado en un estudio oral de 104 semanas con ratas. El nivel aceptable de exposición para operarios es de 0,0042 mg/kg

bw/día. Estos niveles son para la exposición oral crónica. Los límites máximos a exposición aguda son de 0,015 mg/kg bw/día (Convenio de Rotterdam, 2011).

El INECC indico que en 2019 se importó una menor cantidad de plaguicidas altamente peligrosos como el endosulfán, los cuales están etiquetados con registro de uso restringido. Durante el periodo de 2010 a 2019, se hicieron 1,898 importaciones definitivas de endosulfán en el territorio nacional. De acuerdo con el reporte de Perspectivas de las Importaciones y Exportaciones de Plaguicidas en México, enlista al endosulfán como número 1, en la tabla de principales plaguicidas de uso en México que se encuentran prohibidos en al menos 31 países, el número de países en los que está prohibido el endosulfán es 75.

Tabla de Principales plaguicidas de uso en Mexico que se encuentran prohibidos en al menos 31 países.

No.	Plaguicida	Plaguicidas Altamente Peligrosos Criterios FAO-OMS	Plaguicidas Altamente Peligrosos, Criterios PAN Internacional	Numero de países donde está prohibido
1	Endosulfán	1	1	75
2	DDT	1	1	71
3	Captafol <sup>†</sup>	1	1	64
4	Pentaclorofenol (PCP) y sales	1	1	62
5	Monocrotofós	1	1	60
6	Paratión metílico	1	1	59
7	Aldicarb	1	1	56
8	Carbofurán	1	1	49
9	Fosfamidón	1	1	49
10	Metamidofós	1	1	49
11	Alaclor	1	1	48
12	Dicofol			45
13	Carbosulfán		1	40
14	Triazofós	1	1	40
15	Azinfós-metílico	1	1	39
16	Disulfotón	1	1	38
17	Paraquat			38
18	Quintozeno (Pentacloronitrobenzeno)			38
19	Atrazina		1	37
20	Forato	1	1	37
21	Mevinfós <sup>†</sup>	1	1	37
22	Metoxicloro		1	36
23	Bromuro de metilo (y Bromuro de metilo-Cloropicrina)	1	1	35
24	Cloropicrina		1	34
25	Metidatión	1	1	34
26	Terbufós	1	1	34
27	Amitraz			33
28	Benomilo	1	1	33
29	Carbarilo	1	1	33
30	Fonofos <sup>†</sup>			33
31	Vinclozolin	1	1	33
32	Zineb		1	33
33	Diclorovós (DDVP)	1	1	32
34	Ormetoato	1	1	32
35	Triclorfón		1	32
36	Acefate		1	31
37	Cadusafós	1	1	31
38	Edifenfós <sup>†</sup>	1	1	31
39	Maneb <sup>†</sup>	1	1	31
40	Quinalfós <sup>†</sup>		1	31
41	Simazina			31
42	Vamidotión <sup>†</sup>	1	1	31

<sup>†</sup>No cuentan con registro de movimientos comerciales en aduanas en el periodo 2010-2019.

**Figura 2. Detalles de registro Endosulfan C.E. Recuperado de la Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR, COFEPRIS.**

Como se puede observar el endosulfán es el pesticida que tiene prohibición en un mayor número de países en comparación al resto de estos compuestos similares. Estos plaguicidas están considerados como altamente peligrosos de acuerdo con los criterios de la FAO-OMS y el PAN Internacional (INECC, 2020).

### **1.4.3. Endosulfán en alimentos**

Alrededor del mundo se han detectado residuos de endosulfán en muestras de alimentos, en carne de Australia, en concentraciones de 0.36 mg/kg, esto siendo mayor a los límites máximos de exposición, también se encontró presencia en leche de vaca en regiones tabacaleras de Estados Unidos. Se detectaron residuos en tomates en Brasil, muestras de pimientos españoles en Finlandia, en pescados en la India y Nigeria, en alimentos y vegetales en Croacia. El pescado de Kenia y Nigeria estaba altamente contaminado con endosulfán, La Unión Europea prohibió la importación de pescado de Tanzania, Uganda y Kenia debido a los altos niveles de residuos de endosulfán. La presencia de endosulfán en la trucha de los lagos en América de Norte sugiere una amplia dispersión desde las áreas de uso hasta sitios aislados (Harikrisnan & Usha, 2004).

### **1.4.4. Efectos en el ambiente**

La persistencia ambiental de estas sustancias, y su amplia presencia en muchas regiones, se agrava por el transporte a largo alcance que ocurre de unos sitios a otros como resultado de la volatilización de estos materiales. Como prueba de ello, un estudio demuestra que los niveles ambientales de endosulfán cambian con las estaciones climáticas, de tal manera que las concentraciones atmosféricas en el lago Chaou (China) son menores en el invierno. Como Contaminante Orgánico Persistente (COP), el endosulfán se incorpora directamente en el ambiente acuático por medio de las aguas lluvias y de riego en los cultivos, afectando las especies que allí se encuentran, acumulándose en los tejidos de los peces y otros organismos. Sus efectos sobre los vertebrados e invertebrados acuáticos se empiezan a hacer visibles aun en concentraciones tan bajas como 5  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Su tiempo de vida media en agua varía entre 3 y 7 días hasta cerca de 9 meses, dependiendo de la cantidad de oxígeno disuelto, la turbidez

y el pH de los otros contaminantes del medio. El endosulfán-sulfato, principal producto de la degradación, es igualmente tóxico y más persistente en el medio ambiente que sus compuestos de origen (Betancur, 2015).

Los niveles de endosulfán en el aire cambian dependiendo de la localidad. Las concentraciones en el aire en regiones árticas remotas, varía entre 3.3 y 8.3 picogramos por metro cubico. En áreas rurales tienden a tener concentraciones elevadas, de entre 18 y 82 picogramos por metro cubico, alcanzando niveles máximos durante las temporadas de cultivo. El endosulfán puede ser degradado por reacciones químicas, pero no por la luz solar. EL endosulfán puede ser transportado por largas distancias a lugares remotos. Las concentraciones en agua de superficie son muy variables; generalmente las más altas ocurren en aguas que provienen de lugares con gran actividad agrícola, de 0,21 a 54 nanogramos/litro. En el agua, el endosulfán, se transforma en una sustancia menos toxica, endosulfán diol. En el suelo, el endosulfán se adhiere a partículas, lo que limita la movilización del suelo al agua subterránea. Pero la movilización de la superficie del suelo al aire es mayor considerablemente. Algunos alimentos pueden contener residuos de endosulfán; se han encontrada concentraciones altas en verduras frescas y congeladas, de 0.011 a 0.037 partes por millón (ATSDR, 2015).

## **1.5. Legislación del endosulfán**

### **1.5.1. Legislación nacional**

Ante la degradación ambiental que desde hace años afecta la calidad de vida de las personas, la secretaria de Salud, por medio de la COFEPRIS, SE, SEMARNAT, SADER, establece medidas para avanzar en el cumplimiento de diversos tratados internacionales suscritos por México, a fin de prohibir el uso de plaguicidas de alta peligrosidad y reducir las presiones sobre los recursos naturales y minimizar la generación de residuos y emisiones contaminantes.

La publicación en el Diario Oficial de la Federación, el 6 de noviembre del año 2019 del Decreto por el que se modifica la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de

Exportación, hará posible prohibir la importación de diversas sustancias tóxicas, evitando el uso de moléculas prohibidas, así como aquellos plaguicidas de alta peligrosidad cuyo registro sanitario ha sido cancelado (Gobierno de México 2019).

### **1.5.2. Legislación internacional**

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) clasifica al endosulfán en la categoría I “altamente tóxico”.

El convenio de Rotterdam, destinado para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. El anexo III nombrado Productos químicos sujetos al procedimiento de consentimiento fundamentado previo, enlista al endosulfán como un plaguicida. Esto se realizó previamente tomando en cuenta la información y criterios para la inclusión de formulaciones plaguicidas extremadamente peligrosas (Convenio de Rotterdam, 2004).

Debido a que es tóxico, bioacumulable y persistente, el endosulfán está prohibido en 82 países mientras en otros 12 no está permitido, pero tampoco tiene prohibición legal. A pesar del anuncio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) de incorporar el endosulfán a la lista de contaminantes orgánicos prohibidos (Convención de Estocolmo, 2011).

### **1.6. Compuestos Orgánicos Persistentes (COP)**

De acuerdo con la secretaria de Relaciones Exteriores los COP son sustancias orgánicas tóxicas que permanecen en el ambiente por largos periodos y al no degradarse con facilidad, se acumulan y causan daños. Estos son uno de los grandes enemigos de la salud humana y el medio ambiente. Debido a las siguientes características: Permanecen en el medio ambiente por su resistencia a la degradación, son bioacumulables, se incorporan en los tejidos de los seres vivos, aumentando su concentración según el nivel de la cadena trófica, además estos compuestos tienen el potencial de transportarse a larga distancia (Secretaría de Relaciones Exteriores, 2016).



## **1.7. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)**

Los compuestos orgánicos volátiles, a veces llamados VOC son compuestos orgánicos constituidos fundamentalmente por carbono, que se convierten fácilmente en capor o gas y tienen una presión de vapor igual o mayor a 0.01 kPas, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso. En general son compuestos con puntos de ebullición que oscilan entre los 50 y 260°C. El termino agrupa una gran cantidad de tipos de compuestos químicos entre los que se incluyen los hidrocarburos alifáticos y aromáticos, y otros compuestos como aldehídos, cetonas, éteres, ácidos y alcoholes (Sánchez, 2009).

## **1.8. Cromatografía de gases**

La cromatografía de gases es una de las técnicas más usadas en la rama de la cromatografía y se caracteriza porque la muestra es volatilizada e inyectada en la cabeza de una columna cromatográfica, los componentes de la muestra se distribuyen en la fase móvil, pasando por la columna que es la fase estacionaria del método. Las columnas capilares son las más utilizadas, se trata de tubos largos con un diámetro pequeño de vidrio o de sílice, en las que la fase estacionaria esta retenida sobre la pared interna de la columna (Borroto, 2017).

### **1.8.1. Cromatografía de gases inversa**

En la cromatografía de gases inversa, la fase solida es la que se estudia, ya que está enfocado en las características del material poroso, esto a partir de gases simples con propiedades fisicoquímicas ya conocidas, las cuales nos ayudaran como referencia al comportamiento de nuestro material como adsorbente (Osuna, 2010).

## **1.9. Adsorción**

La adsorción es originada por un cuerpo sólido y las moléculas de gas. Esto dependerá del tipo de poros, tamaños y naturaleza química. En el caso particular de la adsorción en poros de tamaño similar a los que son adsorbidos se llama llenado de microporos (Sing, et al. 2011).

Adsorción y desorción son términos usados para indicar la dirección de ciertas cantidades adsorbidas que han sido calculadas, con referencia en las curvas. Los ciclos de histéresis de adsorción se generan cuando la curva de adsorción o curva límite ascendente y la curva límite de desorción descendente no coinciden (Thommes, 2015).

### **1.9.1. Adsorción física**

También conocida como fisisorción esta debido a las fuerzas de Van de Waals entre un sólido y gas, es un fenómeno en el cual se puede recuperar o desorber el contaminante adsorbido (Castells, 2012).

### **1.9.2. Adsorción química**

La quimisorción se trata de un intercambio de electrones del adsorbente y el contaminante, por lo que su desorción es muchas veces inviable, ya que no se puede regenerar el adsorbente (Castells, 2012).

### **1.9.3. Determinación de la adsorción**

La determinación de la cantidad de sustancia adsorbida se necesita encontrar la presión experimental del gas o la concentración del adsorbato en el reactor donde se lleve la adsorción, antes y después del proceso (Aguilar, 1985).

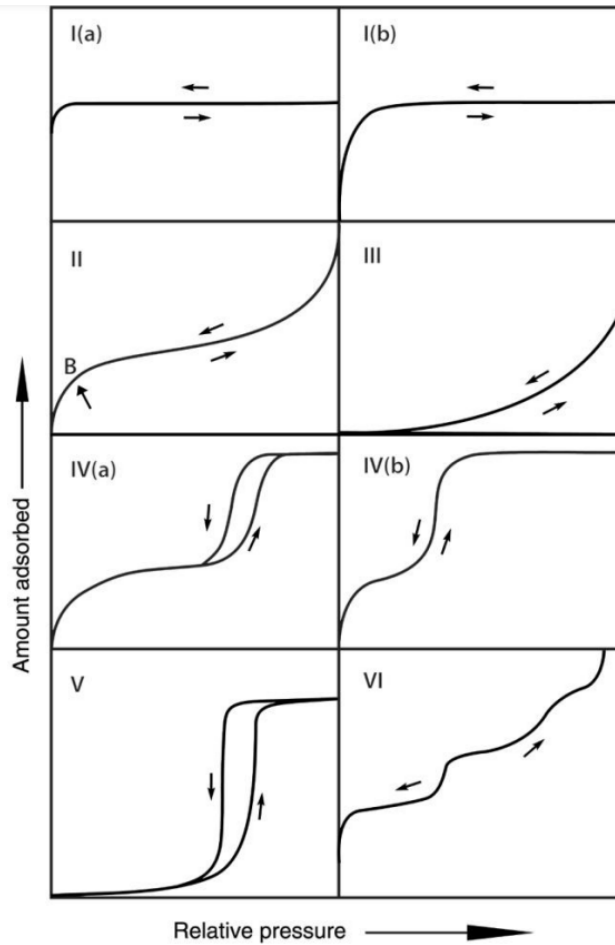
### **1.10. Isoterma de adsorción**

En la relación entre la cantidad de gas adsorbido por un sólido, a temperatura constante como una constante. La cantidad de sustancia adsorbida se defina como el exceso en moles sobre la capa superficial, relacionado a 1cm<sup>2</sup> de superficie o bien 1 g de adsorbente y se designa la con la letra “a”, por lo tanto, las unidades de adsorción son mol/cm<sup>2</sup> o mol/g (Aguilar, 1985).

#### **1.10.1. Clasificación de isotermas**

La IUPAC en 1985 realizo una clasificación de 6 isotermas de fisisorción. Al pasar los años se han encontrado nuevas características para estas isotermas ya que se encuentran

relacionadas con las estructuras particulares de los poros. La clasificación actualizada de isothermas se muestra a continuación (Thommes, 2015).



**Figura 3. Clasificación de isothermas (Thommes, 2015).**

Las isothermas Tipo I son reversibles y están dadas por sólidos microporosos que cuentan con superficie externa pequeñas. Estas se dividen en Tipo I (a) y Tipo I (b), para la primera estas isothermas están dadas por materiales microporosos con poros muy estrechos, mientras para las Tipo I (b) se encuentran en materiales con poros más anchos y posiblemente mesoporosos estrechos.

En isothermas reversibles Tipo II esta es producida por la interacción entre los gases en adsorbentes no porosos o macroporosos.

Una isoterma Tipo III no se forma una monocapa identificable, las interacciones se vuelven débiles y las moléculas que son adsorbidas se agrupan en sitios más favorables de la superficie de un sólido no poroso o macroporoso.

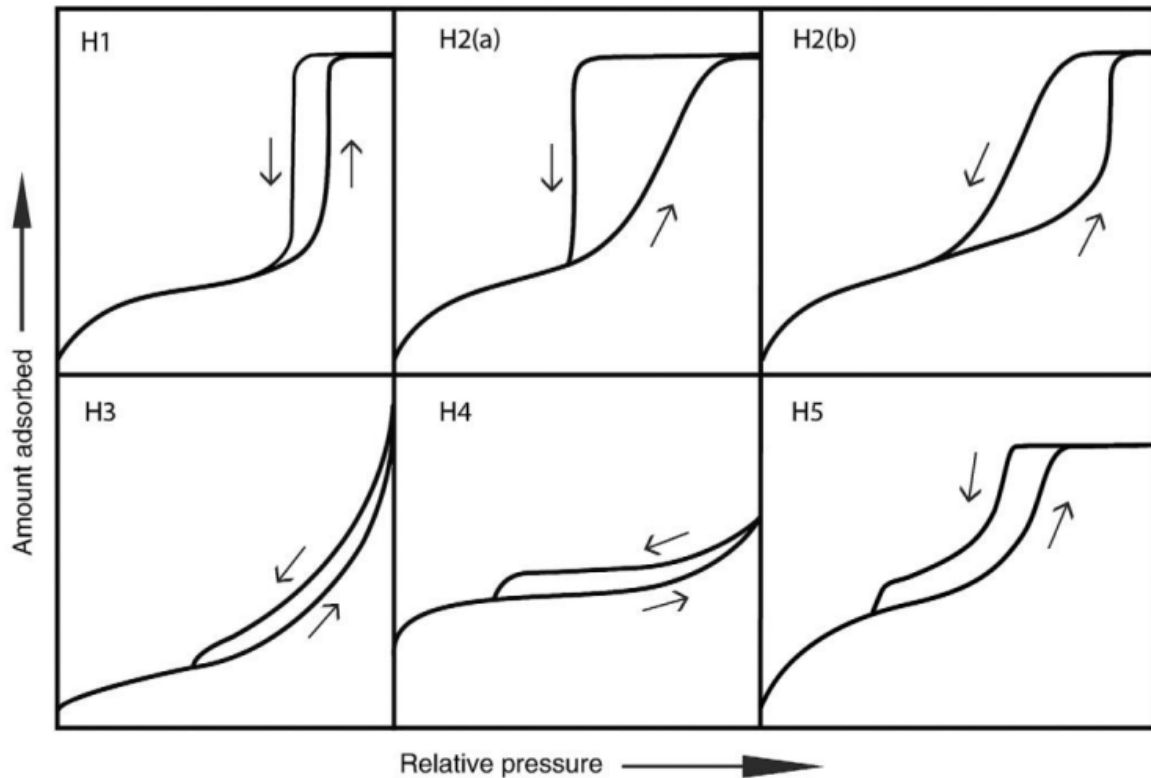
Las isothermas de Tipo IV son relacionadas con adsorbentes mesoporosos, este está determinado por diferentes interacciones. La adsorción inicial en las paredes del mesoporo sigue el mismo camino que una isoterma Tipo II, le sigue la condensación de poros, lo cual se refiere cuando un gas se condensa en su fase líquida dentro de un poro a una presión menor que la presión de saturación. En este caso también existe Tipo IV(a) y Tipo IV(b), para el primer grupo de isothermas la condensación capilar se acompaña de histéresis, esto porque el ancho de los poros excede, dependiendo del sistema de adsorción y temperatura. Para adsorbentes mesoporosos de menor anchura las isothermas son reversibles.

En rangos bajos la forma de la isoterma es de Tipo V, esto se atribuye a las interacciones relativamente débiles entre adsorbente y adsorbato. A presiones altas la agrupación de las moléculas es seguida por el llenado de los poros, estas se pueden encontrar en la adsorción de agua en materiales microporosos y mesoporosos hidrofóbicos.

La isoterma reversible tipo VI es representativa de adsorción por capas en una superficie no porosa. La altura del escalón representa la capacidad de cada capa adsorbiendo, mientras que la nitidez dependerá del sistema de la temperatura (Thommes, 2015).

### **1.10.2. Ciclo de Histéresis**

Esto se refiere cuando el proceso de adsorción sigue una trayectoria y el proceso contrario la desorción toma una trayectoria distinta. Estos ciclos se clasifican de acuerdo con la IUPAC mediante la adsorción de N<sub>2</sub>. Cada uno de los diferentes ciclos, están estrechamente relacionados con características particulares de la estructura de los poros y el mecanismo de adsorción (Thommes, 2015).



**Figura 4. Ciclo de histéresis (Thommes, 2015).**

### 1.10.3. Clasificación de ciclos de histéresis

El tipo H1 se encuentra en sílices moldeadas, algunos vidrios y carbones mesoporosos. Los tipos H2 están dados por estructuras con poros más complejas. Para los H2(a) la rama de desorción es muy pronunciada, en Tipo H2(b) la distribución del tamaño del ancho del cuello es mayor (Thommes, 2015).

Las Tipo H3 se caracterizan por dos razones, la primera, la rama de adsorción se asemeja a una isoterma de Tipo II, además el límite inferior de desorción normalmente se encuentra inducido por cavitación. Para el Tipo H4 es muy parecido, pero la rama de adsorción es ahora compuesta por isothermas Tipo I y II, siendo asociado con baja presión en el llenado de los microporos. Estos se encuentran en cristales de zeolitas, algunas zeolitas mesoporosas y carbones microporosos. El Tipo 5 es difícil de encontrar, ya que tiene una forma distintiva asociado con estructuras de ciertos poros (Thommes, 2015).

### 1.11. Isoterma de Langmuir

La cinética de adsorción y desorción se estudia con la Isoterma de Langmuir, esto por la relación que existe entre las variables de presión del reactivo y la fracción de recubrimiento, esto a temperatura constante.

Para utilizar la isoterma se debe tener en cuenta lo siguiente:

En la superficie del catalizador, en este caso la zeolita, existe un gran número de posiciones en las cuales se puede tener una posición en esta superficie. El calor de adsorción es independiente al número de posiciones. La probabilidad de adsorción es independiente del hecho de que las posiciones contiguas estén ocupadas. Tendrá lugar el fenómeno de adsorción hasta ocuparse todas las posiciones.

La ecuación utilizada para obtener las isotermas es la siguiente:

$$P/a = 1/Kam + P/am$$

Fuente: (Atarés-Huerta, L. 2022).

### 1.12. Isoterma de Freundlich

Esta isoterma asume que la superficie del catalizador es energéticamente heterogénea, también se considera que no existen interacciones laterales entre las moléculas que tuvieron interacción en la superficie. En algunos casos el calor de adsorción variaba logarítmicamente.

Ecuación:

$$a = Kfp^{1/n}$$

A es la capacidad de adsorción en equilibrio con el adsorbente, Kf se define como la capacidad de adsorción y la afinidad del adsorbato por el adsorbente y por último la velocidad de saturación del adsorbato como  $1/n$ .

La isoterma es obtenida a partir de la ecuación logarítmica:

$$\log a = \log Kf + 1/n \log p$$

Fuente: (Solano, K. P. 2010).

### 1.13. Constante de Henry

Esta constante dice que la cantidad de gas disuelta en un líquido a temperatura constante es proporcional a la presión parcial del gas sobre el líquido. Esta ley sigue la siguiente ecuación

$$P=Kh*c.$$

### 1.14. Materiales porosos

Los materiales porosos son “los que tienen una geometría estructural que origina cavidades entre los átomos que la forman” (Paula Ferreira 2015). Estas cavidades se llaman poros y de acuerdo a sus dimensiones, los materiales que los forman son clasificados como microporosos, mesoporosos y macroporosos, según la IUPAC. La porosidad confiere a los materiales diferentes propiedades, como una baja densidad, lo que supone un peso ligero y un área superficial para almacenar moléculas en sus cavidades. Además, el tamaño del poro puede funcionar como un tamiz para separar moléculas. “Los materiales porosos pueden servir como anfitriones de catalizadores o como vehículos de transporte para fármacos y realizar una liberación controlada de moléculas específicas” (Narayanan, 2021).



**Figura 5. Clasificación de materiales porosos de acuerdo con su tamaño de poro**

**Narayanan, S. (2021).**

### **1.15. Zeolitas**

Desde el punto de vista químico, las zeolitas son una clase de aluminosilicatos cristalinos basados en un esqueleto aniónico rígido, con cavidades, canales y poros bien definidos. Las zeolitas tienen aluminio, silicio y oxígeno en su armazón estructural: en los poros se encuentran cationes metálicos y moléculas de agua. Al aumentar la temperatura de la zeolita, el agua en su interior se desprende. Los átomos de aluminio y silicio que forman la estructura de las zeolitas tienen una coordinación entre ellos, gracias al oxígeno. Las zeolitas tienen una composición similar a la de las arcillas, que también son aluminosilicatos porosos, pero la gran diferencia está en la estructura cristalina (Cortés, 2009).

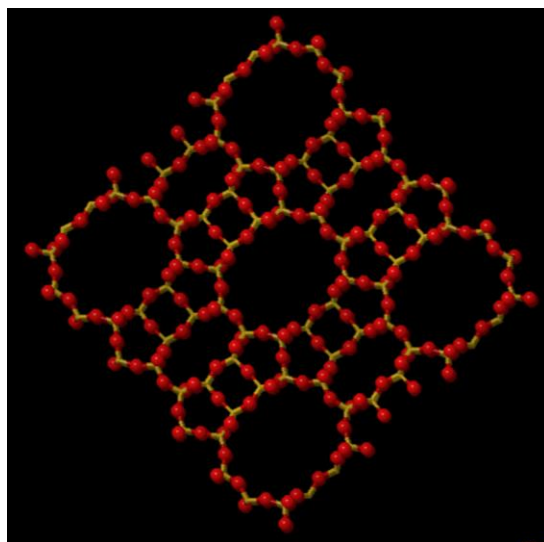
Estos substratos presentan diferentes aplicaciones en el sector industrial principalmente como adsorbentes muy selectivos, intercambiadores iónicos y, lo más importante, catalizadores con actividades y selecciones excepcionales en un gran número de reacciones. Estas aplicaciones contemplan el secado de gases, el acondicionamiento de los suelos, el intercambio iónico, la separación y recuperación de hidrocarburos aromáticos de parafinas normales, la recuperación de iones radioactivos partir de aguas de desecho, el empleo de catalizadores en reacciones de hidrocarburos, el recubrimiento de plásticos, el uso de tamices moleculares para la separación de los componentes del aire atmosférico y la remodelación de gases contaminantes. Existen gran número de zeolitas naturales de las cuales solamente un grupo reducido de estas sobresalen por su bajo costo, cantidad, pureza, accesibilidad y disponibilidad para aplicarlas en distintos procesos de la industria contemporánea. En este grupo se incluye a las zeolitas del tipo mordenita, clinoptilolita, chabazita, eroinita. En México existe una gran cantidad de yacimientos de zeolitas naturales (Hernández, 2005).

### **1.16. Zeolita Mordenita**

La mordenita tiene una composición ideal de Na, Ca, K, Al, Si, O, H, La morfología de la mordenita se caracteriza por agujas con alargamiento en dirección c, El sistema microporos que consta de dos canales, un canal elíptico de 6.7 a 7.0 nm y un canal de poro paralelo de 2,6 a 5,7 nm. Debido a su capacidad de soportar temperaturas altas y estabilidad acida, la



mordenita se ha utilizado como catalizador para importantes reacciones. También se ha utilizado en la separación por adsorción de diferentes gases o mezclas líquidas. La zeolita en tamaño nanométrico es utilizada y es de importancia en la catálisis y adsorción. Los cristales más pequeños de la mordenita tendrán un área superficial mayor y con menos limitaciones de difusión en comparación a otros tipos de zeolitas (Aly, 2011).



**Figura 6. Simulación 3D de la estructura de la zeolita mordenita Database of Zeolite. Structures**

Aunque los poros de esta zeolita son muy pequeños para que la mayoría de las moléculas pueda entrar dentro de sus cavidades, esta se considera como una zeolita monodimensional. La mordenita es ampliamente utilizada en catálisis, separación y purificación debido a su uniforme, alta superficie interna, estructura flexible y química estable (Li, 2009).

**Tabla 1. Múltiples usos de la Modernita en la Industria**

Reacción	Catalizador	Reactivo	Producto
Detección electroquímica	Electrodo de carbono con zeolita mordenita	Iones de mercurio	-

	incorporada en platino		
Isomerización	Mordenita desaluminada	n-pentano, n-hexano	Isoalcanos, mejora del ocanaje de la luz nafta Canfno, limoneno y z-terpineno
Carbonilación	Mordenita H pretratada con agua caliente, tratada con álcali	Dimetil éter	Acetato de metilo
Hidrodesoxigenación	Metal Ru soportado sobre ZSM-5 mordenita, COK-12	2-metoxifenol	Metanol e hidrocarburos ligeros
Adsorción	Zeolitas naturales Mordenita	CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Gases adsorbidos
Conversión de biomasa	Zeolitas mordenitas naturales	Biomasa	Ácido levulinico, huminas
Actividad antibacterial	Mordenita Fe <sub>3</sub>	Azul de metileno	-

**Fuente: Narayanan, S. (2021).**

## **1.17. Técnicas experimentales**

### **1.17.1. Difracción de Rayos X (DRX)**

Este tipo de análisis ha sido utilizado para el estudio de materiales, en los cuales se puede identificar metales, aleaciones, minerales, materiales catalíticos entre otros. El difractograma está formado por picos que corresponden a las distintas dimensiones entre los átomos, esta técnica de caracterización de los materiales es relevante para conocer las propiedades de estos (Aparicio et. Al, 2010).

### **1.17.2. Microscopía electrónica de Barrido (SEM)**

Esta técnica es utilizada ampliamente en el campo científico ya que obtiene imágenes de alta resolución da la capacidad de analizar diferentes características de las muestras de estudio como morfología, estructura y químicas (Penagos, 2013).

### **1.17.3. Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS)**

Es una técnica analítica que permite la caracterización química elemental de materiales, la posición de los picos en es espectro identifica los elementos, mientras que la intensidad de la señal corresponde a la concentración del elemento en la muestra (ThermoFisher, 2022).

### **1.17.4 Adsorción de N<sub>2</sub>**

Este método de caracterización es utilizad par definir las propiedades de textura de los materiales utilizados en trabajos de investigación, se obtienen isothermas de adsorción que permiten interpretar la interacción del material con N<sub>2</sub> (Acevedo et, al. 2017).

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrollará por el método científico, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

**Reactivos y Materiales:** El reactivo HCl de la marca MEYER al 98% de pureza y AgNO<sub>3</sub> fue suministrado por Fermont a una concentración de 37.5 %. Los gases N<sub>2</sub> y He (> 99.999%, INFRA Corp.) fueron de alta pureza para los estudios texturales de adsorción en las zeolitas estudiadas.

### 2.1. Selección e identificación del material poroso

Se analizaron diferentes muestras de zeolita mordenita que se encuentran en el departamento de Zeolitas del ICUAP, en base a los estudios previos de investigaciones realizadas, la mordenita cuenta con las propiedades adsorbentes para que se realizara la experimentación.

Zeolitas mexicanas mordenitas provenientes de yacimientos de La Magdalena Apasco, Oaxaca, México fueron usados en este trabajo (Hernández, M. A. 2020). En la Figura 8 se tiene el peso de la muestra que se utilizara para los diferentes tratamientos.



**Figura 7. Peso de la muestra utilizada para los tratamientos**

## 2.2. Definición del tamaño de partícula

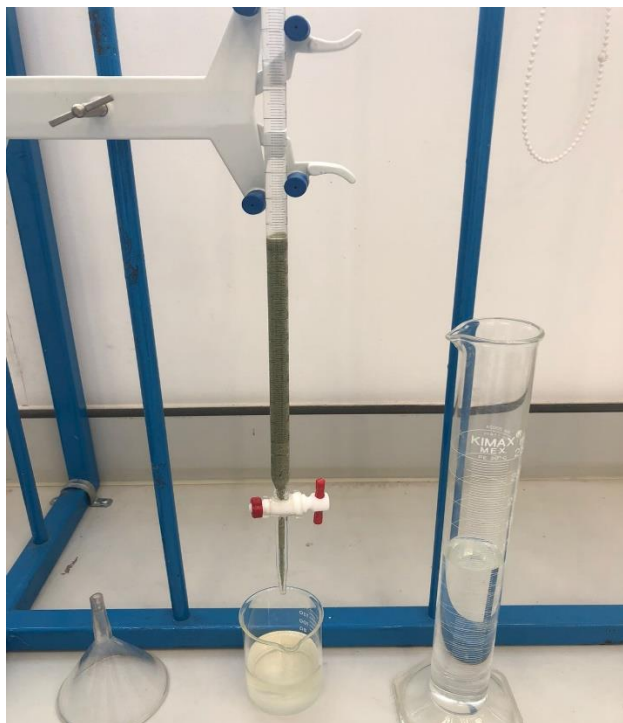
Se tamizo la zeolita para obtener un tamaño ideal para su uso en el cromatógrafo. De acuerdo con Hernández (2000) se sugiere un tamaño de malla de 60-80 mm, esto debido a que favorece la efectividad del tratamiento químico al que fue sometida, así como también para los diferentes análisis de caracterización.



Figura 8 y 9. Tamizado de muestra

## 2.3. Activación y tratamiento de la muestra

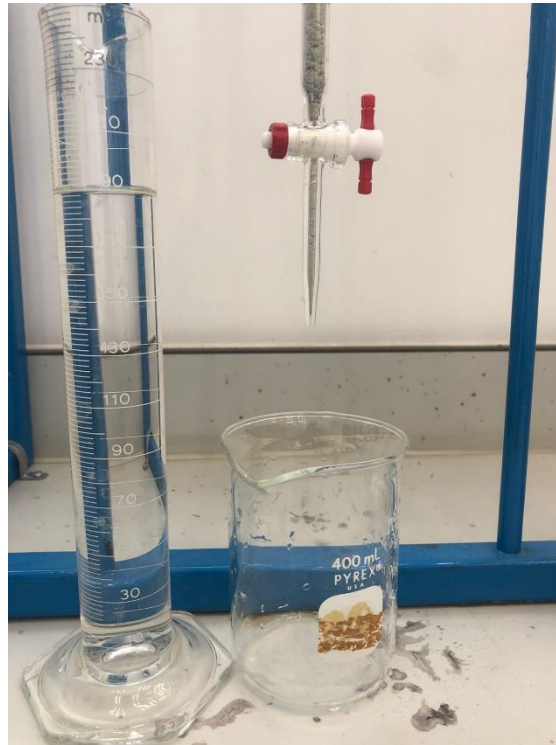
Se llevó a cabo tratamientos ácidos con HCl con una solución al 0.01 N de acuerdo con esto la zeolita, la cual tiene un alto contenido de microporos pueda tener una mejor efectividad en el proceso de adsorción, esto es debido a que los microporos están obstruidos por materiales ajenos a la zeolita y con este tratamiento químico se puedan abrir estos poros (Hernández, 2023). La solución fue diluida en 250 mL de agua destilada, que fue agregada lentamente en el sistema de tratamiento como se observa en la Figura 11.



**Figura 10. Tratamiento con HCl**

#### **2.4. Intercambio catiónico con solución de plata**

Se preparó una solución de las zeolitas AgMOR corresponde a la zeolita original que ha sido tratada una sola ocasión con  $\text{AgNO}_3$  (0.03N, 250 mL). Usando el mismo sistema de intercambio se agregó la solución a la zeolita para el intercambio catiónico.



**Figura 11. Tratamiento con Ag**

### **2.5. Tratamiento térmico**

Se dará un tratamiento térmico al material zeolítico de 250°C durante 4 horas para poder eliminar la humedad que se encuentra en sus cavidades.

### **2.6. Empacar la columna**

Colocar la zeolita tamizada dentro de la columna, la cual fue limpiada y térmicamente tratada para colocar la muestra.



**Figura 12. Llenado de columna con muestra**

## **2.7. Acondicionar el cromatógrafo**

Se inspección el sistema de gases que están conectados al cromatógrafo de gases, identificando fugas. Al colocar la columna al interior del equipo, se revisaron las presiones de los diferentes flujos, además se le da un tratamiento termino durante 3 horas a 320°C para eliminar la humedad.



**Figura 13. Columna conectada al equipo**



## 2.8. Inyección de endosulfán

Usar equipo de protección como guantes, gafas de protección y guantes para el manejo del pesticida. Seleccionar la jeringa para inyectar 1  $\mu\text{L}$



**Figura 14. Inyección de endosulfán**

## 2.9. Técnicas experimentales

**2.9.1. DRX.** Para encontrar e identificar las fases cristalinas, la técnica de difracción de rayos X fue usada por medio de un Difractómetro Modelo Discover D8 (Bruker, Co., Billerica, MA, USA) empleando radiación filtrada de níquel  $\text{Cu K}\alpha$  ( $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ ) operada a 40 kV y 30 mA.

**2.9.2. SEM.** Las imágenes de las zeolitas estudiadas fueron obtenidas con un equipo de Microscopia de Barrido Electrónico JEOL, Modelo JSM-7800F (JEOL USA, Inc., Peabody, MA, USA) de alta resolución.

**2.9.3. EDS.** Un análisis químico por dispersión de energía de rayos X fue realizado en cada una de las muestras, usando un equipo modelo Oxford INCA con una resolución de 137 eV y un detector de 10 mm<sup>2</sup>.

**2.9.4. Adsorción de N<sub>2</sub>.** Las isothermas de adsorción de N<sub>2</sub> a 77 K fueron estimadas en un equipo automático de adsorción (Quantachrome AutoSorb1LC).

**2.9.5. Adsorción de endosulfán.** Los estudios de cromatografía inversa de adsorción fueron realizados en un cromatógrafo de gases (PerkinElmer, Mexico) equipado con un detector de conductividad térmica y He como gas portador (30 mL/min).

**2.9.6. Métodos de cálculo.** Los datos experimentales de la adsorción del endosulfán fueron evaluados usando las ecuaciones de Freundlich y Langmuir en su forma lineal. La evolución del grado de interacción entre las zeolitas estudiadas y el endosulfan fue evaluada usando la ecuación de Clausius-Clapeyron (Rouquerol, F., & Rouquerol, J. (2014)).

## CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. EDS

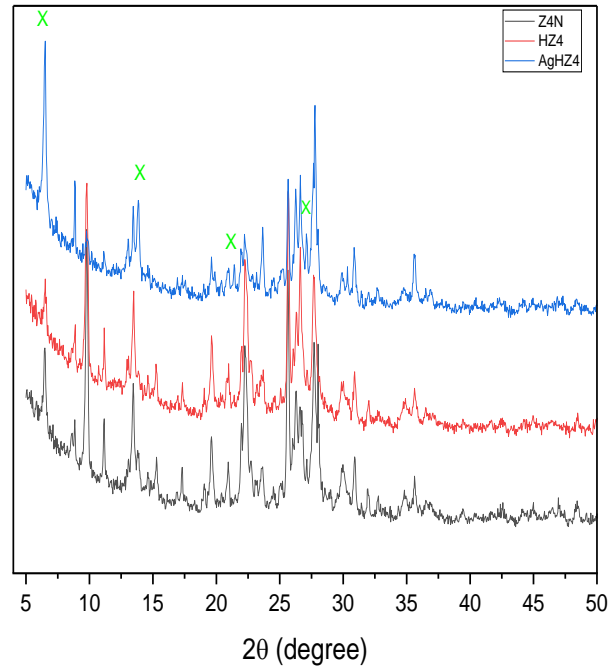
Los resultados de la composición química (EDS) de las zeolitas mordenitas estudiadas están mostradas en la Tabla 2. Se puede observar de esta tabla la presencia mayoritaria de K y en el caso de la zeolita intercambiada con Ag se observa la presencia de este catión en la composición química. Se observa una relación molar Si/Al mayor para la zeolita sin ningún tratamiento químico.

**Table 2.** Composición química, EDS (% en masa).

Zeolita	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Ag	Cl	Si/Al	Total
NMOR	54.73	2.50	0.31	6.22	31.19	2.94	0.60	0.13	1.38	---	----	5.014	100
HMOR	55.05	0.51	0.27	6.48	32.47	2.86	0.81	---	1.55	---	-----	5.010	100
AgHMOR	52.88	0.21	0.29	5.89	28.29	2.04	0.52	---	2.13	8.17	0.08	4.803	100

Los resultados de difracción de rayos X en las muestras de zeolitas están en la Figura 16. Estos difractogramas indican la presencia mayoritaria de Na-Mordenita (04-017-1315), Na-clinoptilolita (01-086-4509) y contenidos mínimos de cuarzo (00-0050490).

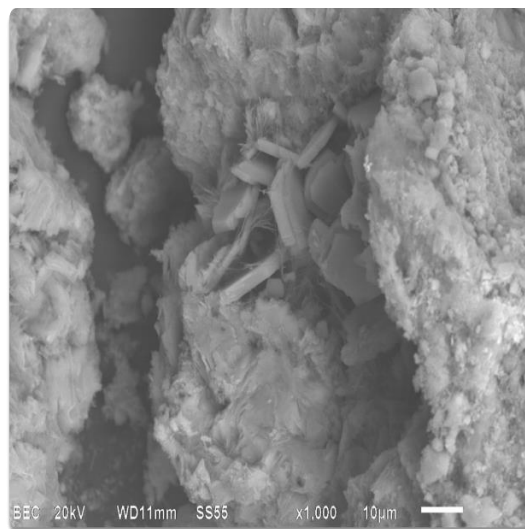
En estos mismos difractogramas se observa la presencia de Ag en las zonas  $2\theta = 6.5^\circ$ ,  $14.8^\circ$ ,  $22.3^\circ$ ,  $28^\circ$  y  $32^\circ$ . Estas señales fueron evaluadas por la ecuación de Debye-Sherrer's estimándose un tamaño de cristal promedio del orden de 49.99 nm que se atribuye a la formación de clusters de Ag formados en el área externa de esta zeolita.



**Figura 15. DRX de muestra en estudio**

### 3.2. SEM

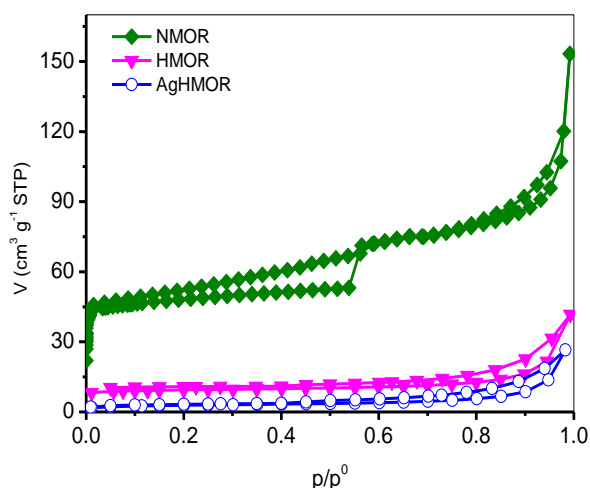
En las imágenes SEM de mordenita, se visualizan a través de la presencia de fibras muy finas, las cuales son acompañadas por cuarzo y cristobalita. Los cristales de clinoptilolita tienen forma de cajas irregulares con tamaños mayores a  $10\ \mu\text{m}$ .



**Figura 16. Imágenes SEM de la zeolita**

### 3.3. Adsorción de N<sub>2</sub>

Las isothermas de adsorción de N<sub>2</sub> a 77 K se observan en la Figura 18. De esta figura se aprecia la formación de isothermas tipo II-IV tanto para las zeolitas AgMOR y HMOR, con baja capacidad de adsorción, mientras la isoterma descrita para la zeolita NMOR presenta una mayor capacidad de adsorción. Este isoterma describe una isoterma híbrida tipo I-IV-VI, siendo su rasgo característico un incremento en la capacidad de adsorción a muy bajas presiones y posteriormente la formación de 2 ciclos de histéresis (Thommes, M. 2015).



**Figura 17. Isothermas de adsorción de N<sub>2</sub>**

Los valores de las estimaciones de estas isothermas se pueden ver en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros de adsorción en muestras de zeolita MOR, N<sub>2</sub> adsorción a 77 K.

Zeolita	A <sub>SL</sub>	A <sub>SB</sub>	C <sub>B</sub>	A <sub>St</sub>	V <sub>Σ</sub>	W <sub>0t</sub>	W <sub>0DA</sub>
	m <sup>2</sup> /g	m <sup>2</sup> /g		m <sup>2</sup> /g	cm <sup>3</sup> /g	cm <sup>3</sup> /g	cm <sup>3</sup> /g
NMOR	217	154	-95	37	0.147	0.057	0.10
HMOR	43	28	-53	7	0.033	0.011	0.02
AgMOR	13	10	835	6	0.021	0.001	0.001

### 3.4. Adsorción de Endosulfán

Las isothermas de endosulfán en las zeolitas mordenitas a distintas temperaturas se observan en la Figura 19.

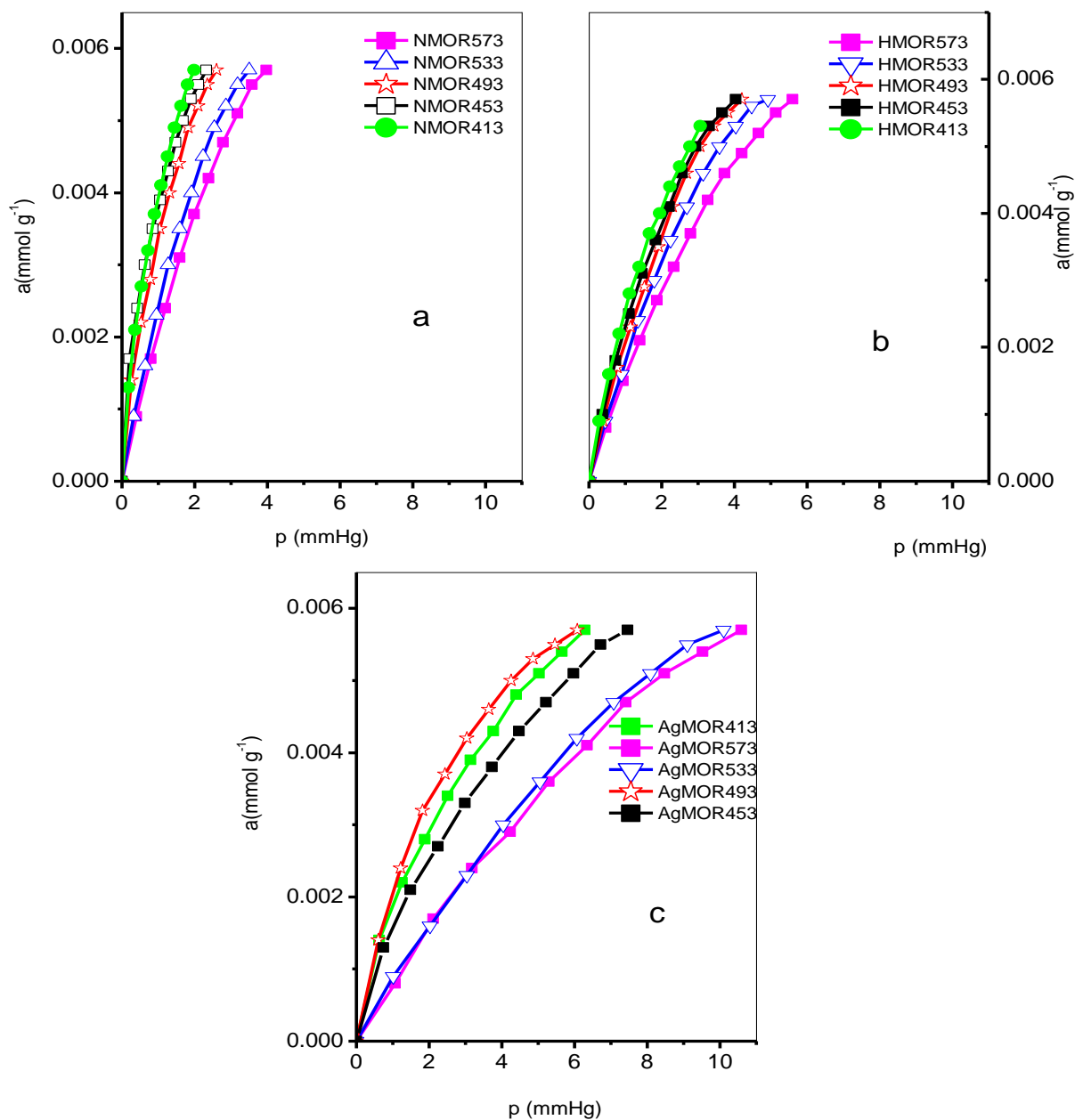


Figura 18. a, b, c Adsorción de endosulfán.

El método de cromatografía de gases inversa fue usado para obtener las isothermas de adsorción a partir de los pulsos de inyección, basada en las curvas de elución del adsorbato

en las zeolitas en estudio. Las isothermas de adsorción fueron estimadas en la zona de bajas concentraciones de adsorbato de allí que la adsorción en los mesoporos no sea contemplada. Consecuentemente, los parámetros termodinámicos que caracterizan a las zeolitas en estudio fueron calculados sin considerar correcciones en la adsorción en el área externa de las zeolitas en estudio. Las isothermas de adsorción de endosulfán a diferentes temperaturas son presentadas en la Figura 18.

**Tabla 4.** Constantes de Henry ( $K_H$ ,  $\text{mmol g}^{-1} \times \text{mmHg}^{-1}$ ), Freundlich ( $K_F$ ,  $\text{mmol g}^{-1} \times \text{mmHg}^{-1}$ ) y Langmuir ( $a_m$ ,  $\text{mmol g}^{-1}$ ) en Mordenita Natural (NMOR) y modificada (HMOR y AgMOR).

Muestra								
T/K		$K_{Fx} 10^3$	N	$R_F$	$K_H 10^3$	$a_m$	$K_L$	$R_L$
573	NMOR	5.74	1.224	0.993	2.400	0.0154	0.156	0.999
	HMOR	1.57	1.261	0.993	1.816	0.013	0.136	0.998
	AgMOR	0.847	1.187	0.989	7.981	0.023	0.0339	0.995
533	NMOR	5.47	1.615	0.990	3.006	0.012	0.236	0.998
	HMOR	2.04	1.283	0.990	2.129	0.013	0.1558	0.998
	AgMOR	0.207	1.664	0.995	0.936	0.014	0.06487	0.999
493	NMOR	6.07	1.615	0.996	6.327	0.008	0.801	0.972
	HMOR	2.04	1.283	0.992	2.527	0.013	0.19416	0.999
	AgMOR	2.07	1.664	0.983	1.135	0.008	0.3193	0.999
453	NMOR	6.47	1.958	0.999	0.010	0.006	0.01568	0.972
	HMOR	2.24	1.370	0.991	2.982	0.0109	0.2724	0.999
	AgMOR	1.6	1.538	0.998	0.202	0.008	0.025	0.991
413	NMOR	54.6	1.596	0.995	8.453	0.0076	1.105	0.992
	HMOR	2.44	1.362	0.995	3.534	0.0096	0.3655	0.999

AgMO	1.9	1.631	0.998	2.644	0.0076	0.347	0.989
R							

Los valores de las constantes de Freundlich, Henry y Langmuir son mostrados en la Tabla 4. Los resultados en la región de Henry se manifiestan por una simetría aceptable de los picos cromatográficos y una constancia en los tiempos de retención obtenidos en la zona de temperaturas estudiadas. Se observa que los volúmenes de retención para este adsorbato son independientes de su concentración.

Adicionalmente, el grado de interacción de este compuesto fue analizado a partir de la evolución de la entalpía isostérica de adsorción,  $q_{st}$ , Figura 20.

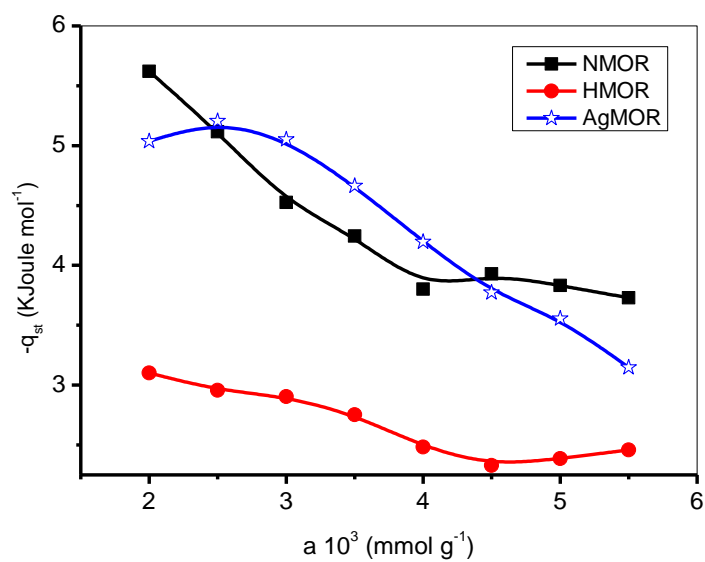


Figura 19. Entalpía isostérica de adsorción de endosulfán en mordenitas.



## CONCLUSIONES

En este trabajo, estudios de adsorción de endosulfán en zeolitas mordenita fueron realizados en un cromatógrafo de gases a bajos grados de cobertura. Los datos experimentales fueron tratados con las ecuaciones de Freundlich, Henry y Langmuir y el grado de interacción entre el endosulfán y las zeolitas mordenita fue obtenido a través de la ecuación de Clausius-Clapeyron. De los resultados obtenidos con la entalpía isostérica de adsorción se observa que el tratamiento ácido propicia una menor interacción respecto a la muestra modificada con Ag y la muestra natural. Los datos experimentales fueron descritos en forma más conveniente con la ecuación Freundlich, estableciéndose que la temperatura de 453 K es la más favorecida. Los estudios de DRX nos indican la presencia mayoritaria de zeolitas mordenita (45%), clinoptilolita (40%), montmorillonita en pequeñas proporciones (10%) y cantidades mínimas de cuarzo. Las imágenes SEM de esta tova zeolítica nos indica la presencia de fibras típicas para la mordenita y de cristales en forma cajas truncadas para clinoptilolita. Con base a los estudios de intercambios iónicos con  $\text{AgNO}_3$  se propicia la formación de cúmulos de Ag con un tamaño aproximado de 49.99 nm. Los estudios de porosidad nos indican la formación de isothermas tipo VI-IV para la muestra NMOR mientras que isothermas tipo II-IV son descritas tanto para la zeolita HMOR como para la AgMOR.

## REFERENCIAS

- Agricultura protegida ubica a México entre los principales productores de frutas y hortalizas. Secretaría de agricultura y desarrollo rural. (25 de agosto de 2022). Recuperado el 10 de junio de 2023 de [<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/agricultura-prottegida-ubica-a-mexico-entre-los-principales-productores-de-frutas-y-hortalizas?idiom=es%2%A0>]
  - Aly, H. M., Moustafa, M. E., & Abdelrahman, E. A. (2012). Synthesis of mordenite zeolite in absence of organic template. *Advanced Powder Technology*, 23(6), 757-760.
  - Atarés-Huerta, L. M. (2022). La isoterma de Langmuir. *Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y Del Medio Natural. Departamento de Tecnología de Alimentos - Departament de Tecnologia d'Aliments.*
  - ATSDR. (2015). Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Resumen de Salud Pública, Endosulfán. Recuperado de [[https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs41.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs41.pdf)]
- Bejarano-González, F., et al. (2009). El endosulfán y sus alternativas en América Latina. Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN).
  - Belmabkhout, Y., & Sayari, A. (2009). Effect of pore expansion and amine functionalization of mesoporous silica on CO<sub>2</sub> adsorption over a wide range of conditions. *Adsorption*, 15, 318-328.
  - Betancur. (2014). La problemática del endosulfán, aspectos químicos, analíticos y ambientales. Recuperado de [<http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n40/n40a19.pdf>]
  - Borroto. (2017). Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Aspectos generales sobre la determinación de alcoholes superiores en bebidas alcohólicas.
  - Brachelt, A. (2004). El manejo ecológico de plagas y enfermedades. Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL). Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA).
  - Carvajal-Bernal, A. M., Gómez, F., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2018). Estudio de la adsorción de 4-nitrofenol desde solución acuosa sobre un carbón

activado con heteroátomos nitrogenados en la superficie: aplicación del Modelo de Sips. *Revista Colombiana de Química*, 47(1), 27-33.

- Convenio de Rotterdam. (2011). Documento de orientación para la adaptación de decisiones: Endosulfán. Recuperado de [http://www.pic.int/Portals/5/DGDs/DGD\\_Endosulfan\\_ES.pdf](http://www.pic.int/Portals/5/DGDs/DGD_Endosulfan_ES.pdf)
- Cortés, A. C. (2009). La importancia de las zeolitas. *Cuadernos del Tomás*, (1), 211-227.
- Database of Zeolite Structures. (s.f.). Recuperado de [URL]
- Degradación de endosulfán en aguas contaminadas mediante procesos enzimáticos promovidos por co-cultivos fúngicos en un reactor tipo airlift. (2016). Recuperado de [<https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/2521/SSIT0013964.pdf?sequence=1>]
- Del Puerto Rodríguez, A. M., Suárez Tamayo, S., & Palacio Estrada, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.
- FAO. (2023). CODEX Alimentario, Glosario de términos. Recuperado de [URL]
- García Franco, R., Hernández, M. Á., Portillo Reyes, R., Petranovskii, V., Rubio, E., & Quiroz Estrada, K. F. (2018). Adsorción de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en zeolitas naturales de poro angosto. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(4), 685-696.
- Hernández, M. A., Pestryakov, A., Portillo, R., Salgado, M. A., Rojas, F., Rubio, E., ... Petranovskii, V. (2015). CO<sub>2</sub> Sequestration by Natural Zeolite for Greenhouse Effect Control. *Procedia Chemistry*, 15, 33-41. DOI: 10.1016/j.proche.2015.10.006.
- INECC. (2020). Perspectivas de las importaciones y las exportaciones de plaguicidas en México, junio, 2020. Recuperado de [<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/559746/PerspectivasImportacionesExportacionesPlaguicidas.pdf>]
- Li, X., Prins, R., & van Bokhoven, J. A. (2009). Synthesis and characterization of mesoporous mordenite. *Journal of catalysis*, 262(2), 257-265.

- Maurin, G., Belmabkhout, Y., Pirngruber, G., Gaberova, L., & Llewellyn, P. (2007). CO<sub>2</sub> adsorption in LiY and NaY at high temperature: molecular simulations compared to experiments. *Adsorption*, *13*, 453-460.
- México establece medidas para eliminar el uso de plaguicidas de alta peligrosidad. (2019, 11 noviembre). Sistema Integral de Comunicación. Recuperado el 4 de febrero de 2023, de [\[https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=4193\]](https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=4193)
- Narayanan, S., Tamizhdurai, P., Mangesh, V. L., Ragupathi, C., & Ramesh, A. (2021). Recent advances in the synthesis and applications of mordenite zeolite—review. *RSC Advances*, *11*(1), 250-267.
- Osuna Esteban, S. (2010). *Estudio de la energía superficial de matrices orgánicas por cromatografía de gases inversa para su aplicación en el desarrollo de materiales compuestos*.
- Rendón, & Bejarano. (2010). Residuos de endosulfán en ecosistemas acuáticos de México. *Boletín Informativo. Jaina*, *21*(2), agosto 2010. Recuperado de [\[https://www.researchgate.net/publication/348647350\\_Residuos\\_de\\_endosulfan\\_en\\_ecosistemas\\_acuaticos\\_de\\_Mexico\]](https://www.researchgate.net/publication/348647350_Residuos_de_endosulfan_en_ecosistemas_acuaticos_de_Mexico)
- Sánchez Montero, J. M. (2009). Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*.
- Secretaría de Economía. (2023). Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes vegetales y LMR. Recuperado de [\[http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp\]](http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp)
- Secretaría de Relaciones Exteriores. (2016). Gobierno de México, ¿qué son los contaminantes orgánicos persistentes. Recuperado de [\[https://www.gob.mx/sre/articulos/que-son-los-contaminantes-organicos-persistentes\]](https://www.gob.mx/sre/articulos/que-son-los-contaminantes-organicos-persistentes)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2016). Impacto de las plagas y enfermedades en el sector agrícola. Recuperado de [\[https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/glossary/es/\]](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/glossary/es/)

- Sing, K. S. W., Evereth, D. H., Haul, R. A. W., Moacou, L., Pierotti, R. A., Rouquerol, J., ... Siemieniewska, T. (1985). *Pure Applied Chem*, 1985, pp. 603-619.
- Solano, K. P. (2010). *Adsorción de trihalometanos de una solución acuosa con bentonita modificada con hexadeciltrimetilamonio*. (Tesis de postgrado). Repositorio UNISON, Hermosillo, Sonora. Recuperado de [\[http://hdl.handle.net/20.500.12984/310\]](http://hdl.handle.net/20.500.12984/310)
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A., Oliver, J., Rodríguez, F., Rouquerol, J., ... van Bokhoven, J. A. (2015). Fisorción de gases, con referencia especial a la evaluación de área superficial y distribución de tamaño de poro (Reporte Técnico IUPAC). Londres.
- Tsitsihvili, G. V., Andronikashvili, T. G., Kirov, G. N., & Filizova, L. D. (1992). *Natural Zeolites*. Brighton, UK: Ellis Horwood Ltd, pp. 100–120.
- Waliszewski, S. M., Caba, M., Gomez-Arroyo, S., Villalobos-Pietrini, R., Martinez, A., Valencia-Quintana, R., ... Regalado Torres, M. A. (2013). Niveles de plaguicidas organoclorados en habitantes de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(), 121-131.
- Aparicio Ceja, M. E., & Carbajal Arizaga, G. G. (2010). Utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 3(2), 62-72.
- Penagos, J. I. C. (2013). Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). *Elementos*, 3(3), 133-146.
- ThermoFisher, Cientific. (2022). Espectroscopia de energía dispersiva. Asignacion de espectroscopia de rayos x de energía dispersiva para una caracterización química fiable. Recuperado de: <https://www.thermofisher.com/mx/es/home/materials-science/edstechnology.html#:~:text=La%20espectroscopia%20de%20rayos%20X,qu%C3%ADmica%20Fan%C3%A1lisis%20elemental%20de%20materiales>.
- Acevedo, S., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2017). Caracterización de carbones activados modificados con agentes quelantes para la adsorción de metales tóxicos en solución acuosa. *Afinidad*, 74(578).

- Harikrisnan, & Usha. (2004). EndoThanal Conversation Action L14 Jawahar Nagar, Kowdiar, Thiruvananthapuram- 695 003, Kerala, India. Endosulfan Fact Sheet & Answers to common questions. Recuperado de [[https://www.rapaluruaguay.org/sitio\\_1/endosulfan/Hoja\\_Informativa.html#:~:text=L a%20Agencia%20de%20Protecci%C3%B3n%20Ambiental,en%20Categor%C3%A Da%20II%20%E2%80%93Moderadamente%20Peligroso](https://www.rapaluruaguay.org/sitio_1/endosulfan/Hoja_Informativa.html#:~:text=L a%20Agencia%20de%20Protecci%C3%B3n%20Ambiental,en%20Categor%C3%A Da%20II%20%E2%80%93Moderadamente%20Peligroso)]
- Aguilar, G. (1985). *Adsorción y Catálisis*. México: UAP, pp. 10-22.

# ANEXOS

## Anexo I.

Cromatogramas obtenidos por cromatografía de gases de las diferentes muestras.

Cromatogramas de la muestra intercambiada con  $\text{AgNO}_3$  AgHMOR a diferentes intervalos de temperatura.

Figura 1. T: 300°C

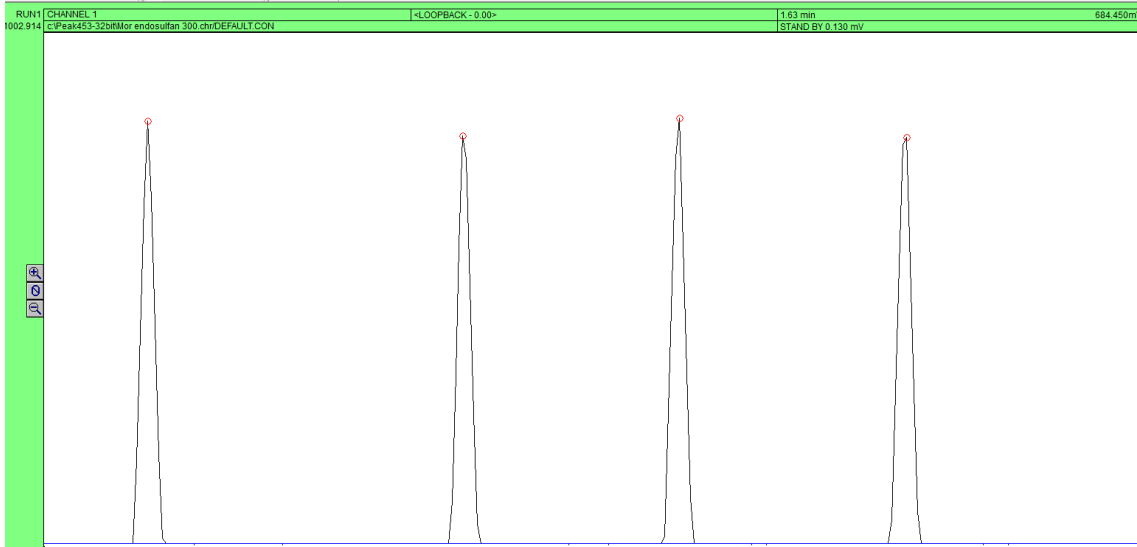


Figura 2. T: 260°C

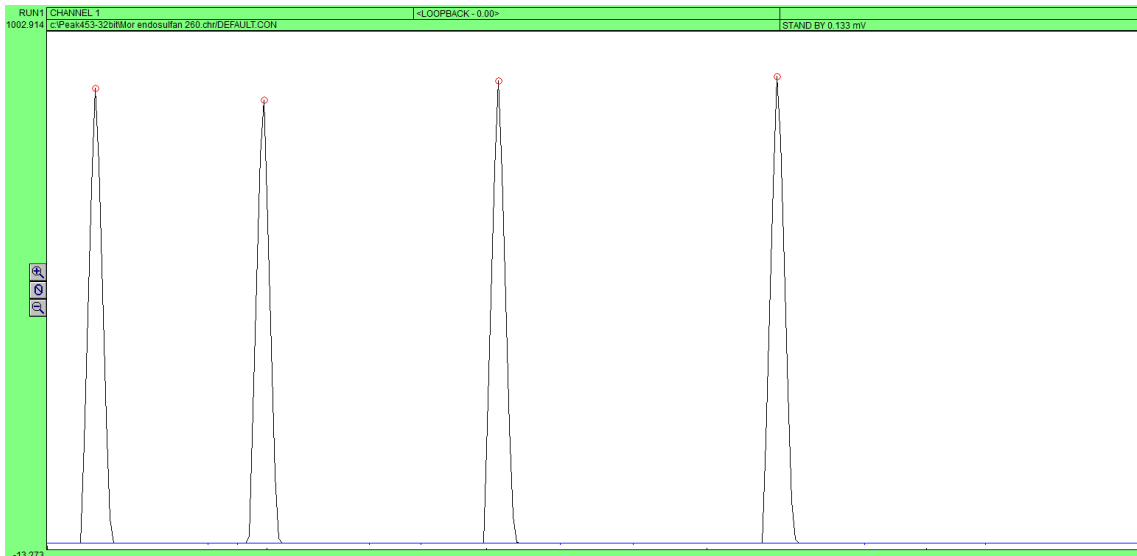


Figura 3. T:220°C

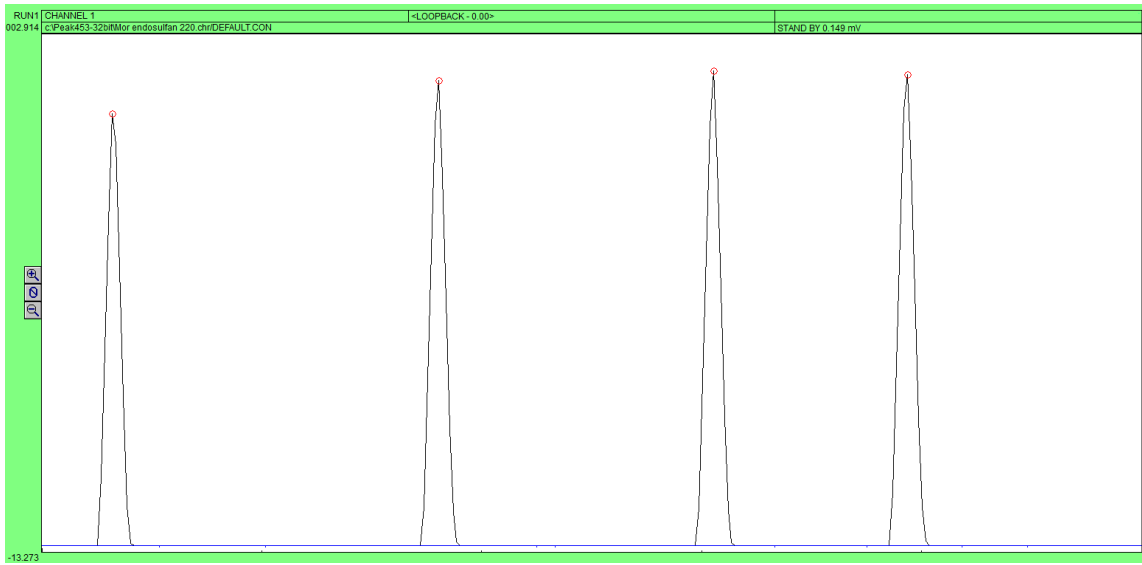


Figura 4. T: 180°C

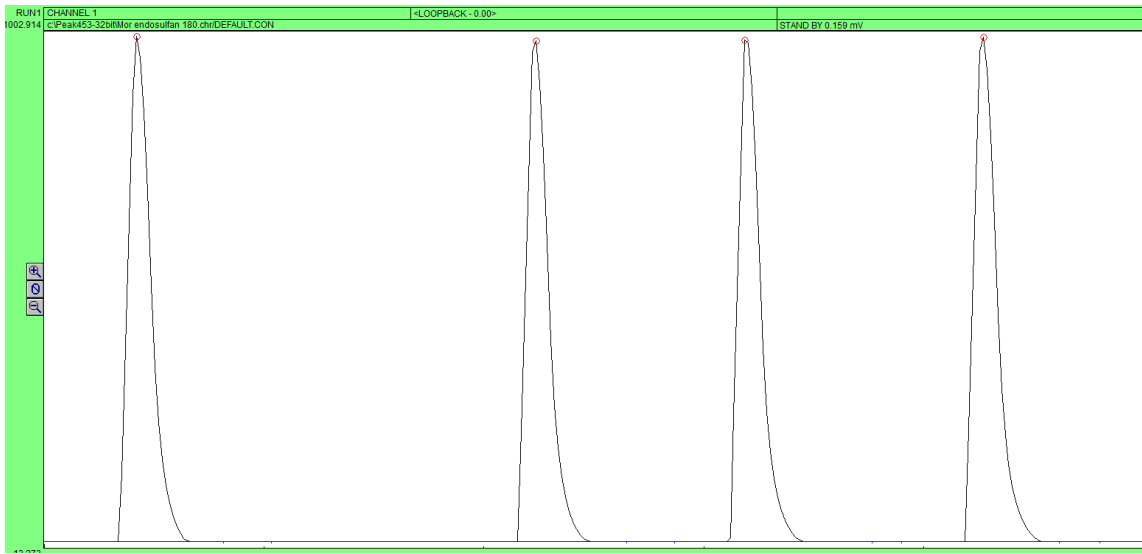
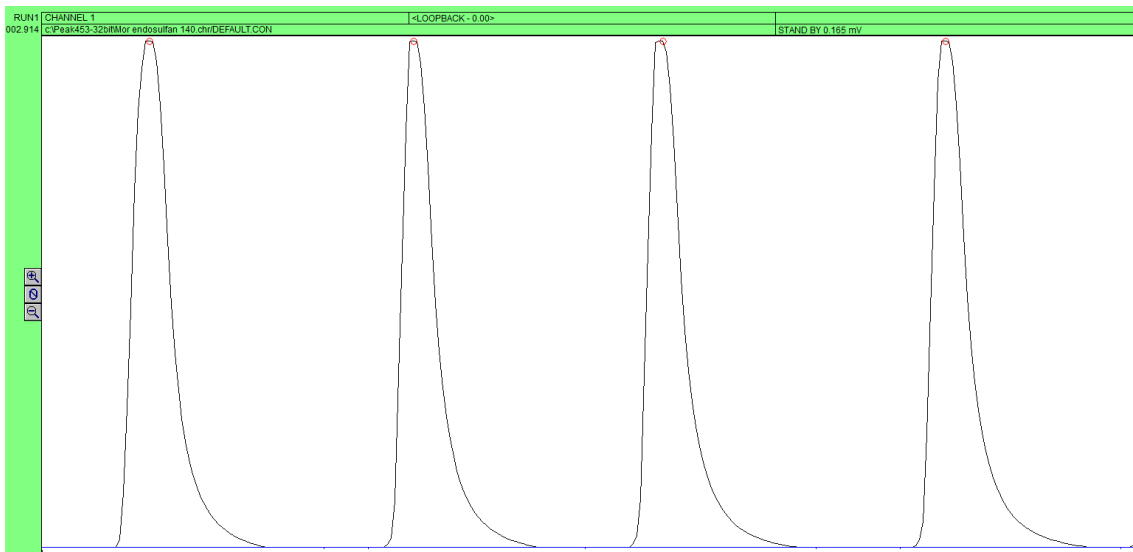




Figura 5. T: 140°C



Cromatogramas de la muestra Natural NMOR a diferentes intervalos de temperatura.

Figura 6. T: 300°C

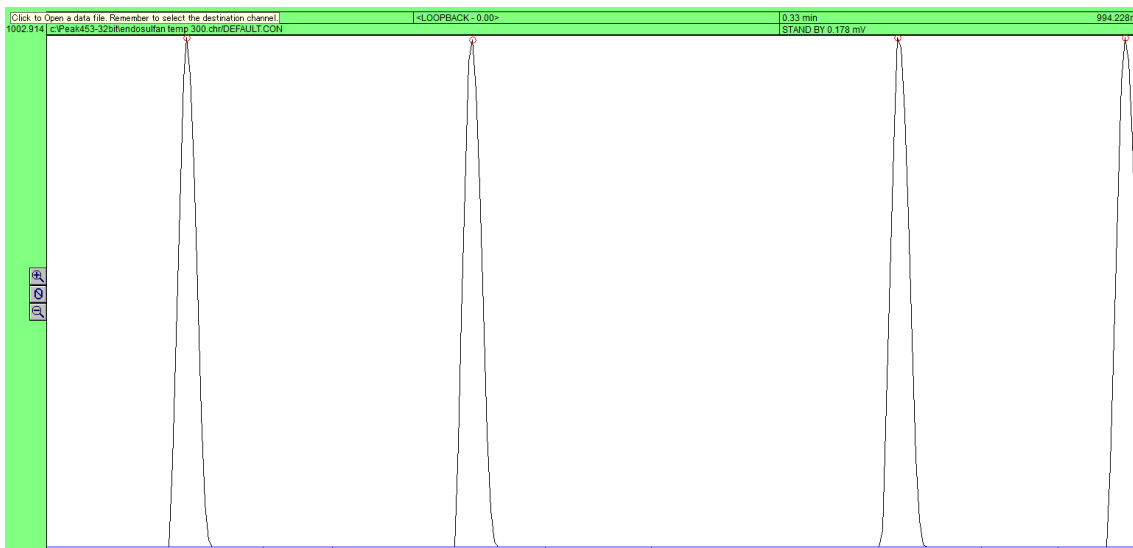


Figura 7. T: 260°C

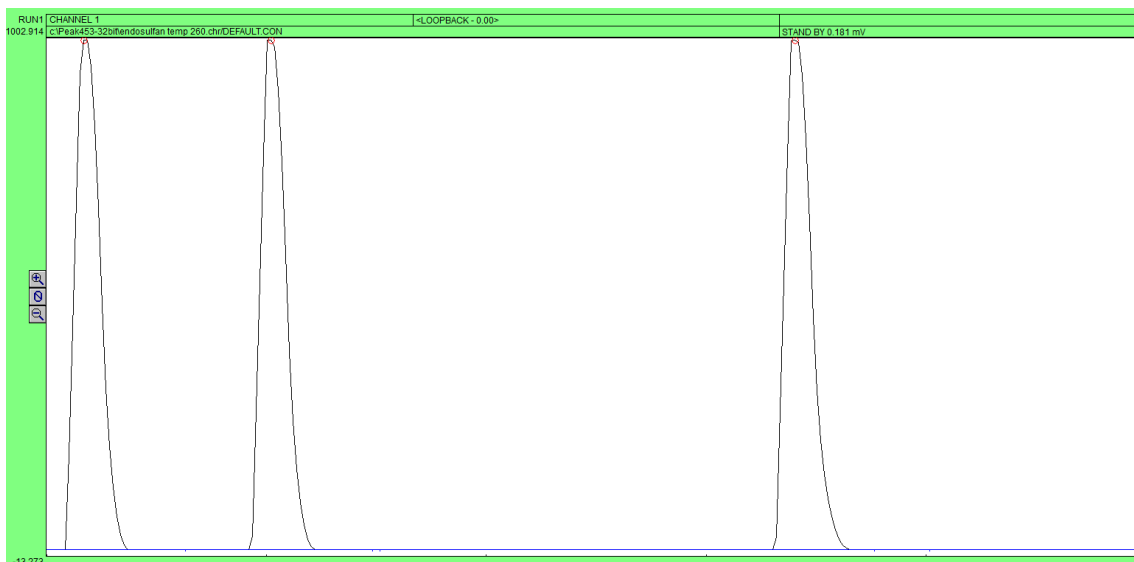


Figura 8. T: 260°C

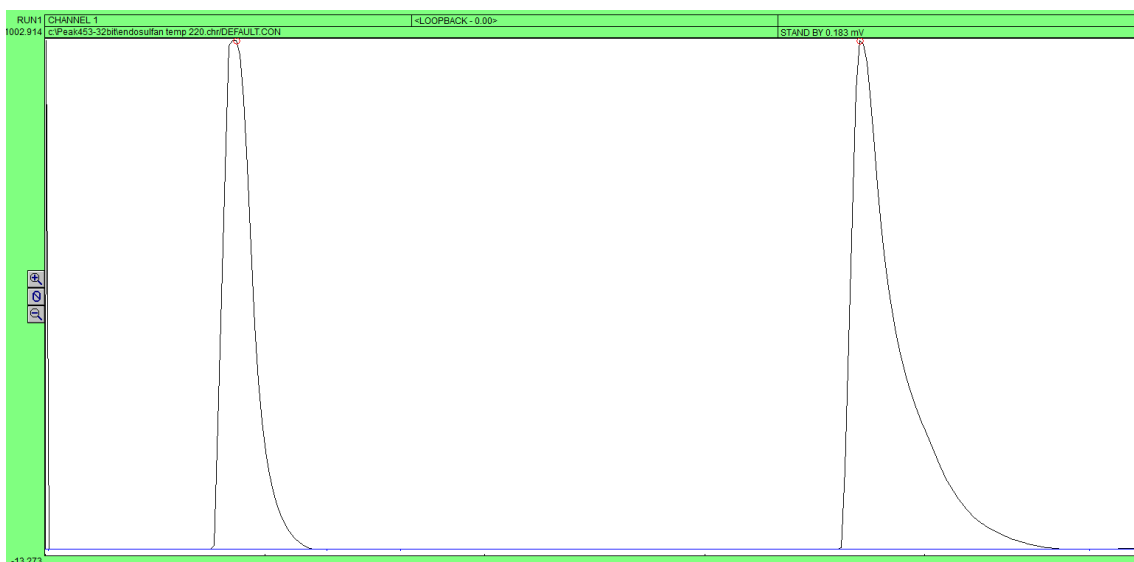


Figura 9. T: 180°C

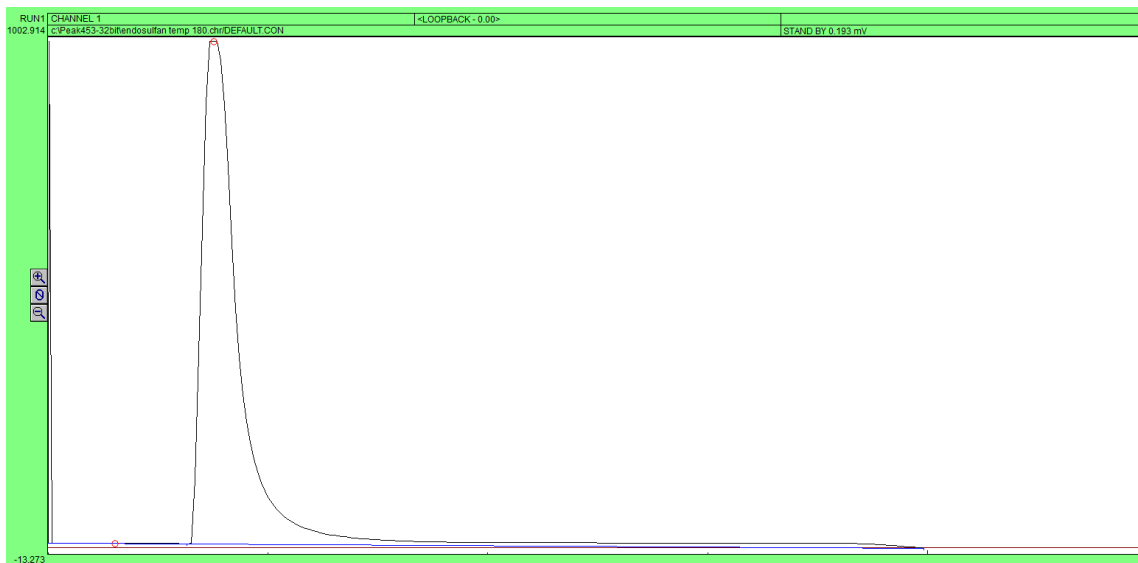
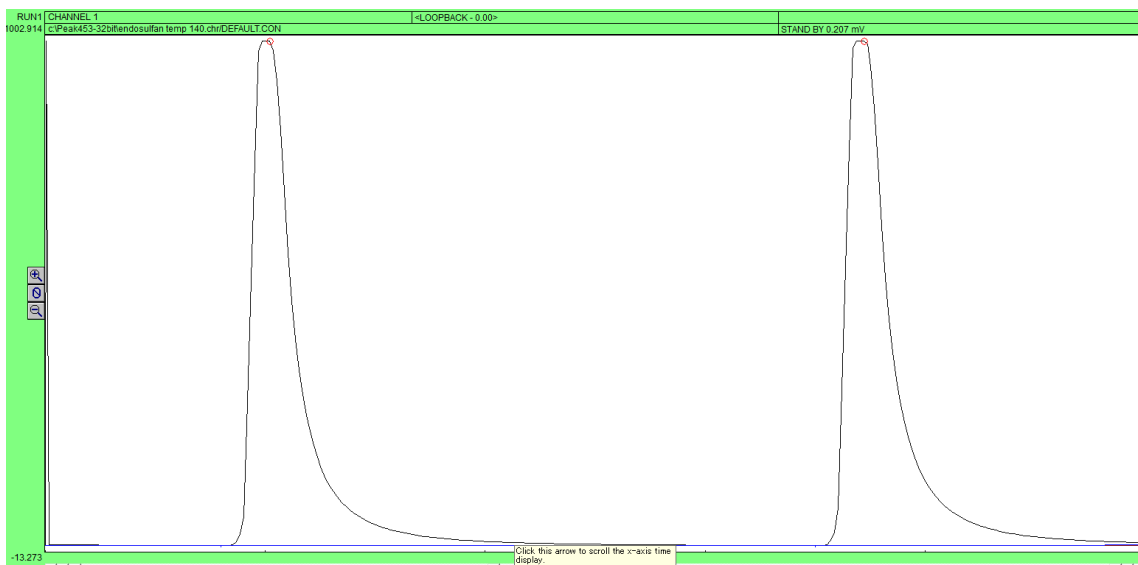


Figura 10. T: 140°C



Cromatogramas de la muestra con tratamiento ácido HCIMOR a diferentes intervalos de temperatura.

Figura 11. T: 300°C

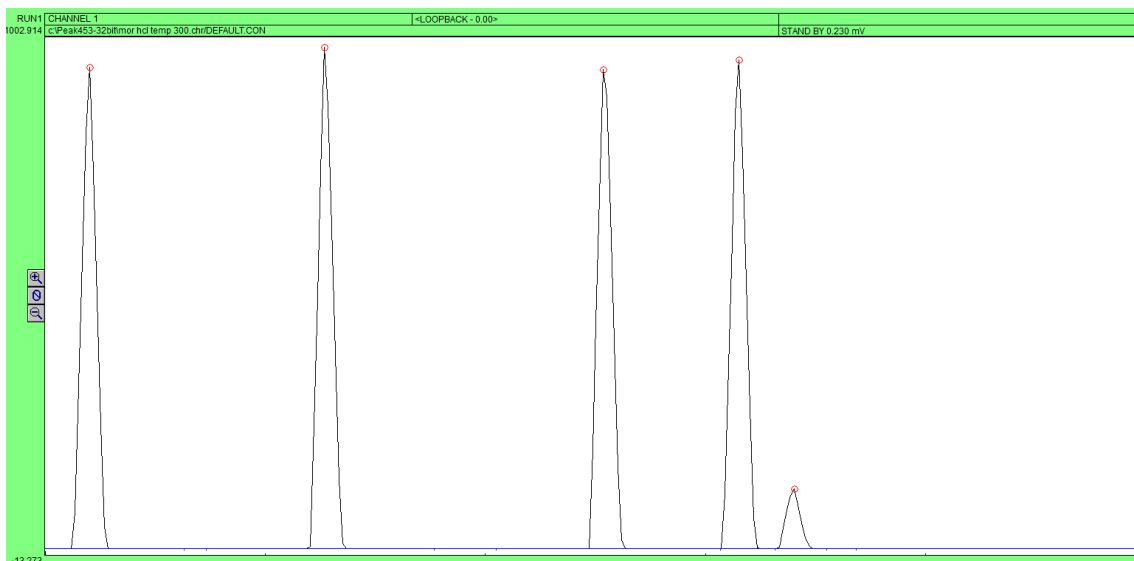


Figura 12. T: 260°C

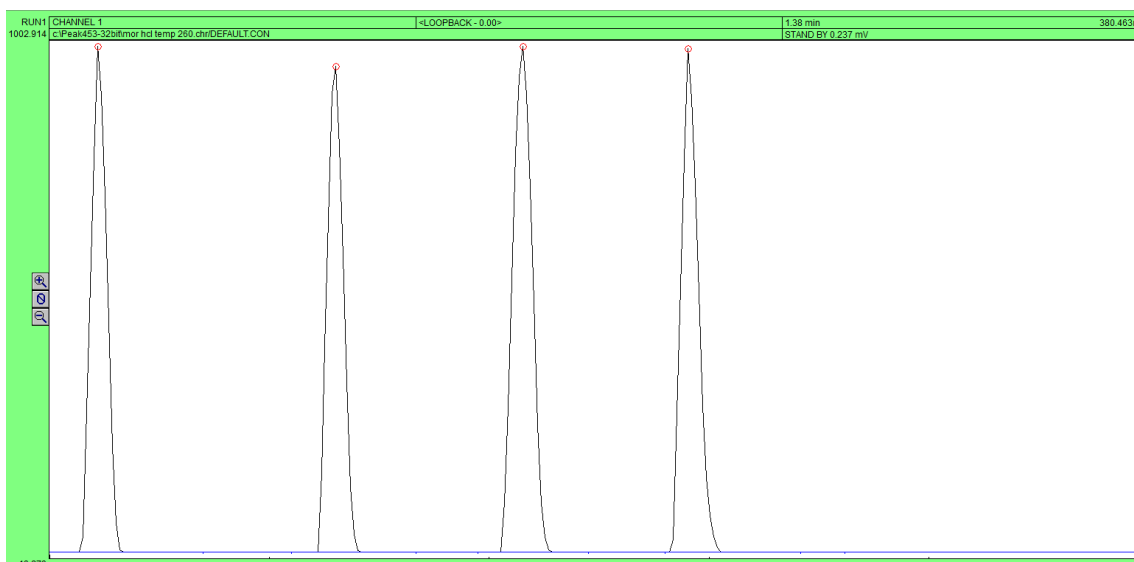


Figura 13. T: 220°C

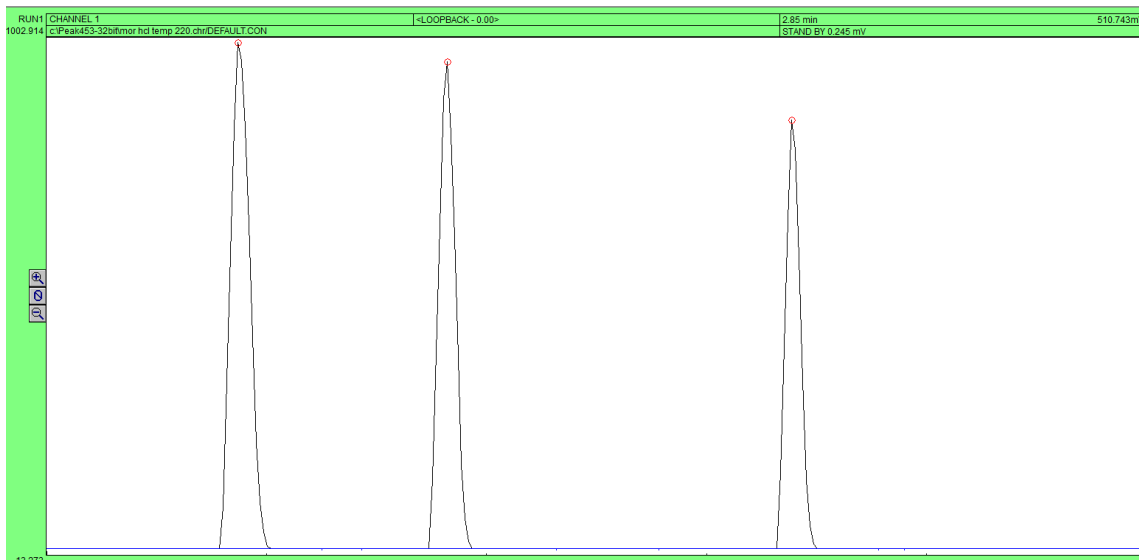


Figura 14 T: 180°C

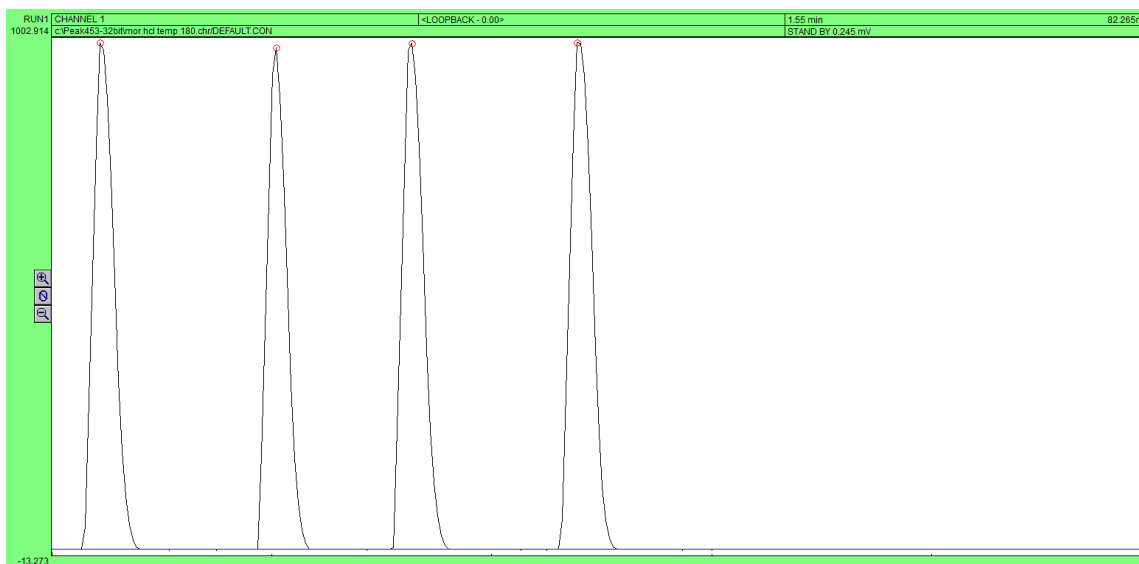
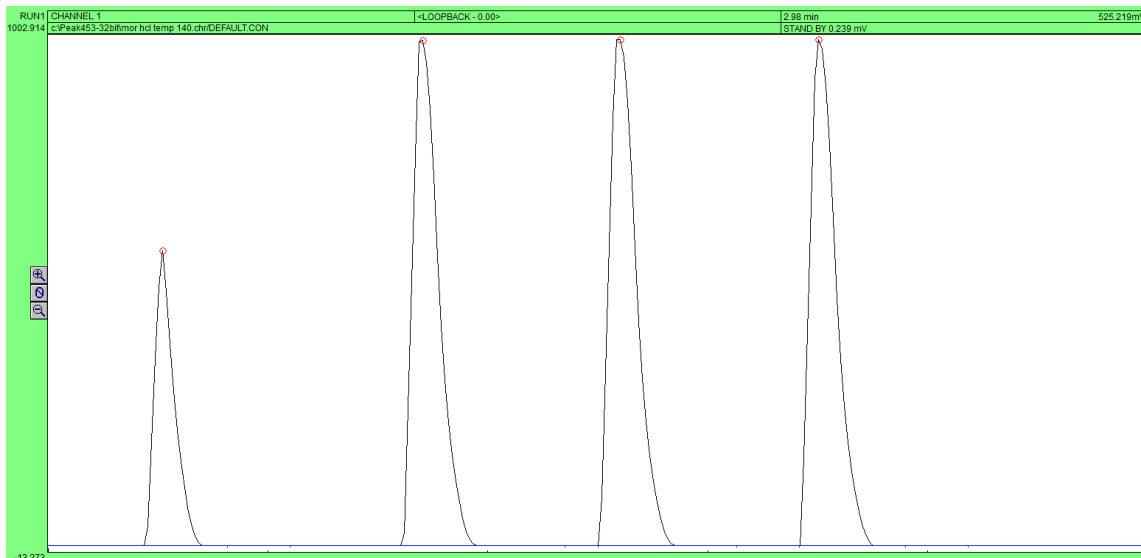


Figura 15. T: 140°C



## Anexo II

Hojas de cálculo de las diferentes muestras a diferentes intervalos de temperatura

Hojas de cálculo muestra Natural NMOR

Figura 16. T: 300°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S					
1	ENDOSULFAN MORDENITA NATURAL																							
2				Datos				Datos				Datos				Datos								
3	300 °C			T	573.15	K					PI	0.074	g					k	6.01E-06	mmol/ml	R	62.32	mmHg	
4				Whc exp	30	ml/m					HΔ	19.5	cm					Whc c	29.98	ml/min				
5				Wc	1	m					AΔ	23.716	cm2					Po a 25°C	573.15	mmHg				
6				P	900.07	mmHg					gc	0.75	g					Pi	1495.07					
7				Tr	10.15	seg					A□	9	cm2					*p	1102.602					
8				AT	998.05					ma	4.28E-03					T c	298.15	K	25	°C				
9																								
10	n	h	cm	Pg	S adsorción		a	c		p														
11	1	19.5	cm	0.195	23.716	cm2	5.70E-03	mmol/g	1.17E-04	mmol/mL	4.19	mmHg												
12	2	17.55	cm	0.187	22.743	cm2	5.47E-03	mmol/g	1.06E-04	mmol/mL	3.77	mmHg												
13	3	15.6	cm	0.175	21.284	cm2	5.12E-03	mmol/g	9.38E-05	mmol/mL	3.35	mmHg												
14	4	13.65	cm	0.16	19.459	cm2	4.68E-03	mmol/g	8.21E-05	mmol/mL	2.93	mmHg												
15	5	11.7	cm	0.144	17.514	cm2	4.21E-03	mmol/g	7.04E-05	mmol/mL	2.51	mmHg												
16	6	9.75	cm	0.125	15.203	cm2	3.65E-03	mmol/g	5.86E-05	mmol/mL	2.09	mmHg												
17	7	7.8	cm	0.105	12.770	cm2	3.07E-03	mmol/g	4.69E-05	mmol/mL	1.68	mmHg												
18	8	5.85	cm	0.082	9.973	cm2	2.40E-03	mmol/g	3.52E-05	mmol/mL	1.26	mmHg												
19	9	3.9	cm	0.057	6.932	cm2	1.67E-03	mmol/g	2.35E-05	mmol/mL	0.84	mmHg												
20	10	1.95	cm	0.03	3.649	cm2	8.77E-04	mmol/g	1.17E-05	mmol/mL	0.42	mmHg												
21	11		cm			cm2		mmol/g		mmol/mL		mmHg												

Figura 17. T: 260°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S					
1	Mordenit natural																							
2				Datos				Datos				Datos				Datos								
3	260 °C			T	533.15	K					PI	0.075	g					k	5.66E-06	mmol/ml	R	62.32	mmHg	
4				Whc exp	30	ml/m					HΔ	19.7	cm					Whc c	26.24	ml/min				
5				Wc	1	m					AΔ	28.800	cm2					Po a 25°C	533.15	mmHg				
6				P	900.07	mmHg					gc	0.75	g					Pi	1495.07					
7				Tr	11.25	seg					A□	9	cm2					*p	1090.145					
8				AT	1002.914					ma	4.28E-03					T c	298.15	K	25	°C				
9																								
10	n	h	cm	Pg	S adsorción		a	c		p														
11	1	19.7	cm	0.24	28.800	cm2	5.70E-03	mmol/g	1.11E-04	mmol/mL	3.70	mmHg												
12	2	17.9090909	cm	0.232	27.840	cm2	5.51E-03	mmol/g	1.01E-04	mmol/mL	3.27	mmHg												
13	3	16.1181818	cm	0.22	26.400	cm2	5.23E-03	mmol/g	9.12E-05	mmol/mL	3.03	mmHg												
14	4	14.3272727	cm	0.205	24.600	cm2	4.87E-03	mmol/g	8.11E-05	mmol/mL	2.69	mmHg												
15	5	12.5363636	cm	0.19	22.800	cm2	4.51E-03	mmol/g	7.09E-05	mmol/mL	2.36	mmHg												
16	6	10.7454545	cm	0.17	20.400	cm2	4.04E-03	mmol/g	6.08E-05	mmol/mL	2.02	mmHg												
17	7	8.95454545	cm	0.149	17.880	cm2	3.54E-03	mmol/g	5.07E-05	mmol/mL	1.68	mmHg												
18	8	7.16363636	cm	0.125	15.000	cm2	2.97E-03	mmol/g	4.05E-05	mmol/mL	1.35	mmHg												
19	9	5.37272727	cm	0.098	11.760	cm2	2.33E-03	mmol/g	3.04E-05	mmol/mL	1.01	mmHg												
20	10	3.58181818	cm	0.069	8.280	cm2	1.64E-03	mmol/g	2.03E-05	mmol/mL	0.67	mmHg												
21	11	1.79090909	cm	0.037	4.440	cm2	8.79E-04	mmol/g	1.01E-05	mmol/mL	0.34	mmHg												

Figura 18. T: 220°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S					
1	ENDOSULFAN MORDENITA NATURAL																							
2				Datos				Datos				Datos				Datos								
3	220 °C			T	493.15	K					PI	0.075	g					k	4.80E-06	mmol/ml	R	62.32	mmHg	
4				Whc exp	30	ml/m					HΔ	20	cm					Whc c	22.69	ml/min				
5				Wc	1	m					AΔ	39.240	cm2					Po a 25°C	493.15	mmHg				
6				P	900.07	mmHg					gc	0.75	g					Pi	1495.07					
7				Tr	12.65	seg					A□	9	cm2					*p	1078.259					
8				AT	1002.914					ma	4.28E-03					T c	298.15	K	25	°C				
9																								
10	n	h	cm	Pg	S adsorción		a	c		p														
11	1	20	cm	0.327	39.240	cm2	5.70E-03	mmol/g	9.60E-05	mmol/mL	2.95	mmHg												
12	2	18	cm	0.315	37.800	cm2	5.49E-03	mmol/g	8.64E-05	mmol/mL	2.66	mmHg												
13	3	16	cm	0.298	35.760	cm2	5.20E-03	mmol/g	7.68E-05	mmol/mL	2.36	mmHg												
14	4	14	cm	0.279	33.480	cm2	4.86E-03	mmol/g	6.72E-05	mmol/mL	2.07	mmHg												
15	5	12	cm	0.254	30.480	cm2	4.43E-03	mmol/g	5.76E-05	mmol/mL	1.77	mmHg												
16	6	10	cm	0.228	27.360	cm2	3.98E-03	mmol/g	4.80E-05	mmol/mL	1.48	mmHg												
17	7	8	cm	0.199	23.880	cm2	3.47E-03	mmol/g	3.84E-05	mmol/mL	1.18	mmHg												
18	8	6	cm	0.163	19.560	cm2	2.84E-03	mmol/g	2.88E-05	mmol/mL	0.89	mmHg												
19	9	4	cm	0.127	15.240	cm2	2.21E-03	mmol/g	1.92E-05	mmol/mL	0.59	mmHg												
20	10	2	cm	0.08	9.600	cm2	1.39E-03	mmol/g	9.60E-06	mmol/mL	0.30	mmHg												
21	11		cm			cm2		mmol/g		mmol/mL		mmHg												

Figura 19. T: 180°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S			
1	ENDOSULFAN MORDENITA NATURAL																					
2				Datos				Datos				Datos				Datos						
3	180 °C			T	453.15	K					Pi	0.075	g					k	5.01E-06	mmol/ml		
4				Whc exp	30	mL/m					HΔ	19.7	cm					Whc c	19.36	ml/min		
5				Wc	1	m					ΔΔ	44.040	cm2					Po a 25°C	453.15	mmHg		
6				P	900.07	mmHg					gc	0.75	g					Pi	1495.07			
7				Tr	13.15	seg					A□	9	cm2					*p	1056.981			
8				AT	1002.914						ma	4.28E-03						T c	298.15	K	25	°C
9																						
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c			p											
11	1	19.7	cm	0.367	44.040	cm2	5.70E-03	mmol/g	9.88E-05	mmol/mL	2.79	mmHg										
12	2	17.9090909	cm	0.356	42.720	cm2	5.53E-03	mmol/g	8.98E-05	mmol/mL	2.54	mmHg										
13	3	16.1181818	cm	0.339	40.680	cm2	5.27E-03	mmol/g	8.08E-05	mmol/mL	2.28	mmHg										
14	4	14.3272727	cm	0.322	38.640	cm2	5.00E-03	mmol/g	7.18E-05	mmol/mL	2.03	mmHg										
15	5	12.5363636	cm	0.302	36.240	cm2	4.69E-03	mmol/g	6.29E-05	mmol/mL	1.78	mmHg										
16	6	10.7454545	cm	0.279	33.480	cm2	4.33E-03	mmol/g	5.39E-05	mmol/mL	1.52	mmHg										
17	7	8.95454545	cm	0.251	30.120	cm2	3.90E-03	mmol/g	4.49E-05	mmol/mL	1.27	mmHg										
18	8	7.16363636	cm	0.224	26.880	cm2	3.48E-03	mmol/g	3.59E-05	mmol/mL	1.01	mmHg										
19	9	5.37272727	cm	0.192	23.040	cm2	2.98E-03	mmol/g	2.69E-05	mmol/mL	0.76	mmHg										
20	10	3.58181818	cm	0.156	18.720	cm2	2.42E-03	mmol/g	1.80E-05	mmol/mL	0.51	mmHg										
21	11	1.79090909	cm	0.11	13.200	cm2	1.71E-03	mmol/g	8.98E-06	mmol/mL	0.25	mmHg										

Figura 20. T: 140°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S			
1	ENDOSULFAN MORDENITA NATURAL																					
2				Datos				Datos				Datos				Datos						
3	140 °C			T	413.15	K					Pi	0.075	g					k	5.16E-06	mmol/ml		
4				Whc exp	30	mL/m					HΔ	19.8	cm					Whc c	16.26	ml/min		
5				Wc	1	m					ΔΔ	51.000	cm2					Po a 25°C	413.15	mmHg		
6				P	900.07	mmHg					gc	0.75	g					Pi	1495.07			
7				Tr	18.2	seg					A□	9	cm2					*p	1056.348			
8				AT	1002.914						ma	4.28E-03						T c	298.15	K	25	°C
9																						
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c			p											
11	1	19.8	cm	0.425	51.000	cm2	5.70E-03	mmol/g	1.02E-04	mmol/mL	2.63	mmHg										
12	2	18	cm	0.407	48.840	cm2	5.46E-03	mmol/g	9.28E-05	mmol/mL	2.39	mmHg										
13	3	16.2	cm	0.383	45.960	cm2	5.14E-03	mmol/g	8.35E-05	mmol/mL	2.15	mmHg										
14	4	14.4	cm	0.364	43.680	cm2	4.88E-03	mmol/g	7.43E-05	mmol/mL	1.91	mmHg										
15	5	12.6	cm	0.337	40.440	cm2	4.53E-03	mmol/g	6.50E-05	mmol/mL	1.67	mmHg										
16	6	10.8	cm	0.308	36.960	cm2	4.13E-03	mmol/g	5.57E-05	mmol/mL	1.43	mmHg										
17	7	9	cm	0.278	33.360	cm2	3.73E-03	mmol/g	4.64E-05	mmol/mL	1.19	mmHg										
18	8	7.2	cm	0.242	29.040	cm2	3.25E-03	mmol/g	3.71E-05	mmol/mL	0.96	mmHg										
19	9	5.4	cm	0.202	24.240	cm2	2.71E-03	mmol/g	2.78E-05	mmol/mL	0.72	mmHg										
20	10	3.6	cm	0.157	18.840	cm2	2.11E-03	mmol/g	1.86E-05	mmol/mL	0.48	mmHg										
21	11	1.8	cm	0.094	11.280	cm2	1.26E-03	mmol/g	9.28E-06	mmol/mL	0.24	mmHg										

Hojas de cálculo muestra tratada con ácido HCIMOR

Figura 21. T: 300°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S			
1	ENDOSULFAN MORDENITA HCl																					
2				Datos				Datos				Datos				Datos						
3	300 °C			T	573.15	K					Pi	0.075	g					k	7.98E-06	mmol/ml		
4				Whc exp	30	mL/m					HΔ	19.6	cm					Whc c	29.98	ml/min		
5				Wc	1	m					ΔΔ	17.880	cm2					Po a 25°C	573.15	mmHg		
6				P	900.07	mmHg					gc	0.75	g					Pi	1495.07			
7				Tr	9.2	seg					A□	9	cm2					*p	1102.602			
8				AT	1002.914						ma	4.28E-03						T c	298.15	K	25	°C
9																						
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c			p											
11	1	19.6	cm	0.149	17.880	cm2	5.70E-03	mmol/g	1.56E-04	mmol/mL	5.58	mmHg										
12	2	17.9666667	cm	0.143	17.160	cm2	5.47E-03	mmol/g	1.43E-04	mmol/mL	5.12	mmHg										
13	3	16.3333333	cm	0.136	16.320	cm2	5.20E-03	mmol/g	1.30E-04	mmol/mL	4.65	mmHg										
14	4	14.7	cm	0.128	15.360	cm2	4.90E-03	mmol/g	1.17E-04	mmol/mL	4.19	mmHg										
15	5	13.0666667	cm	0.119	14.280	cm2	4.55E-03	mmol/g	1.04E-04	mmol/mL	3.72	mmHg										
16	6	11.4333333	cm	0.109	13.080	cm2	4.17E-03	mmol/g	9.12E-05	mmol/mL	3.26	mmHg										
17	7	9.8	cm	0.098	11.760	cm2	3.75E-03	mmol/g	7.82E-05	mmol/mL	2.79	mmHg										
18	8	8.1666667	cm	0.084	10.080	cm2	3.21E-03	mmol/g	6.51E-05	mmol/mL	2.33	mmHg										
19	9	6.5333333	cm	0.071	8.520	cm2	2.72E-03	mmol/g	5.21E-05	mmol/mL	1.86	mmHg										
20	10	4.9	cm	0.056	6.720	cm2	2.14E-03	mmol/g	3.91E-05	mmol/mL	1.40	mmHg										
21	11	3.2666667	cm	0.039	4.680	cm2	1.49E-03	mmol/g	2.61E-05	mmol/mL	0.93	mmHg										
22	12	1.6333333	cm	0.021	2.520	cm2	8.04E-04	mmol/g	1.30E-05	mmol/mL	0.47	mmHg										



Figura 22. T: 260°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1				ENDOSULFAN MORDENITA HCL																
2				Datos				Datos				Datos			Datos					
3		260	°C	T	533.15	K		PI□	0.077	g		k	8.06E-06	mmol/ml			R	62.32	mmHg	
4				Whc exp	30	ml/m		HΔ	19.8	cm		Whc c	26.24	ml/min				33225.908		
5				Wc	1	m		AΔ	20.221	cm2		Po a 25°C	533.15	mmHg						
6				P	900.07	mmHg		gc	0.75	g		PI	1495.07							
7				Tr	9.45	seg		A□	9	cm2		*p	1090.145							
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C				
9																				
10	n	h	cm	Pg	S adsorción		a	c			p									
11	1	19.8	cm	0.173	20.221	cm2	5.70E-03	mmol/g	1.60E-04	mmol/mL	5.30	mmHg								
12	2	18	cm	0.169	19.753	cm2	5.57E-03	mmol/g	1.45E-04	mmol/mL	4.82	mmHg								
13	3	16.2	cm	0.161	18.818	cm2	5.31E-03	mmol/g	1.31E-04	mmol/mL	4.34	mmHg								
14	4	14.4	cm	0.151	17.649	cm2	4.98E-03	mmol/g	1.18E-04	mmol/mL	3.86	mmHg								
15	5	12.6	cm	0.139	16.247	cm2	4.58E-03	mmol/g	1.02E-04	mmol/mL	3.37	mmHg								
16	6	10.8	cm	0.125	14.610	cm2	4.12E-03	mmol/g	8.70E-05	mmol/mL	2.89	mmHg								
17	7	9	cm	0.109	12.740	cm2	3.59E-03	mmol/g	7.25E-05	mmol/mL	2.41	mmHg								
18	8	7.2	cm	0.091	10.636	cm2	3.00E-03	mmol/g	5.80E-05	mmol/mL	1.93	mmHg								
19	9	5.4	cm	0.072	8.416	cm2	2.37E-03	mmol/g	4.35E-05	mmol/mL	1.45	mmHg								
20	10	3.6	cm	0.05	5.844	cm2	1.65E-03	mmol/g	2.90E-05	mmol/mL	0.96	mmHg								
21	11	1.8	cm	0.027	3.156	cm2	8.90E-04	mmol/g	1.45E-05	mmol/mL	0.48	mmHg								

Figura 23. T: 220°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1				ENDOSULFAN MORDENITA HCL															
2				Datos				Datos				Datos			Datos				
3		220	°C	T	493.15	K		PI□	0.074	g		k	7.78E-06	mmol/ml			R	62.32	mmHg
4				Whc exp	30	ml/m		HΔ	19.9	cm		Whc c	22.69	ml/min				30733.108	
5				Wc	1	m		AΔ	24.203	cm2		Po a 25°C	493.15	mmHg					
6				P	900.07	mmHg		gc	0.75	g		PI	1495.07						
7				Tr	10.05	seg		A□	9	cm2		*p	1078.259						
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C			
9																			
10	n	h	cm	Pg	S adsorción		a	c			p								
11	1	19.9	cm	0.199	24.203	cm2	5.70E-03	mmol/g	1.55E-04	mmol/mL	4.76	mmHg							
12	2	18.0909091	cm	0.192	23.351	cm2	5.50E-03	mmol/g	1.41E-04	mmol/mL	4.33	mmHg							
13	3	16.2818182	cm	0.184	22.378	cm2	5.27E-03	mmol/g	1.27E-04	mmol/mL	3.90	mmHg							
14	4	14.4727273	cm	0.173	21.041	cm2	4.96E-03	mmol/g	1.13E-04	mmol/mL	3.46	mmHg							
15	5	12.6636364	cm	0.159	19.338	cm2	4.56E-03	mmol/g	9.86E-05	mmol/mL	3.03	mmHg							
16	6	10.8545455	cm	0.142	17.270	cm2	4.07E-03	mmol/g	8.45E-05	mmol/mL	2.60	mmHg							
17	7	9.0454545	cm	0.123	14.959	cm2	3.52E-03	mmol/g	7.04E-05	mmol/mL	2.16	mmHg							
18	8	7.2363636	cm	0.102	12.405	cm2	2.92E-03	mmol/g	5.63E-05	mmol/mL	1.73	mmHg							
19	9	5.4272727	cm	0.082	9.973	cm2	2.35E-03	mmol/g	4.22E-05	mmol/mL	1.30	mmHg							
20	10	3.6181818	cm	0.058	7.054	cm2	1.66E-03	mmol/g	2.82E-05	mmol/mL	0.87	mmHg							
21	11	1.8090909	cm	0.031	3.770	cm2	8.88E-04	mmol/g	1.41E-05	mmol/mL	0.43	mmHg							

Figura 24. T: 180°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1				ENDOSULFAN MORDENITA HCL															
2				Datos				Datos				Datos			Datos				
3		180	°C	T	453.15	K		PI□	0.075	g		k	8.76E-06	mmol/ml			R	62.32	mmHg
4				Whc exp	30	ml/m		HΔ	19.9	cm		Whc c	19.36	ml/min				28240.308	
5				Wc	1	m		AΔ	25.200	cm2		Po a 25°C	453.15	mmHg					
6				P	900.07	mmHg		gc	0.75	g		PI	1495.07						
7				Tr	11.95	seg		A□	9	cm2		*p	1066.981						
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C			
9																			
10	n	h	cm	Pg	S adsorción		a	c			p								
11	1	19.9	cm	0.21	25.200	cm2	5.70E-03	mmol/g	1.74E-04	mmol/mL	4.92	mmHg							
12	2	18.0909091	cm	0.204	24.480	cm2	5.54E-03	mmol/g	1.59E-04	mmol/mL	4.48	mmHg							
13	3	16.2818182	cm	0.195	23.400	cm2	5.29E-03	mmol/g	1.43E-04	mmol/mL	4.03	mmHg							
14	4	14.4727273	cm	0.183	21.960	cm2	4.97E-03	mmol/g	1.27E-04	mmol/mL	3.58	mmHg							
15	5	12.6636364	cm	0.169	20.280	cm2	4.59E-03	mmol/g	1.11E-04	mmol/mL	3.13	mmHg							
16	6	10.8545455	cm	0.152	18.240	cm2	4.13E-03	mmol/g	9.51E-05	mmol/mL	2.69	mmHg							
17	7	9.0454545	cm	0.134	16.080	cm2	3.64E-03	mmol/g	7.93E-05	mmol/mL	2.24	mmHg							
18	8	7.2363636	cm	0.114	13.680	cm2	3.09E-03	mmol/g	6.34E-05	mmol/mL	1.79	mmHg							
19	9	5.4272727	cm	0.092	11.040	cm2	2.50E-03	mmol/g	4.76E-05	mmol/mL	1.34	mmHg							
20	10	3.6181818	cm	0.066	7.920	cm2	1.79E-03	mmol/g	3.17E-05	mmol/mL	0.90	mmHg							
21	11	1.8090909	cm	0.035	4.200	cm2	9.50E-04	mmol/g	1.59E-05	mmol/mL	0.45	mmHg							

Figura 25. T: 140°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	ENDOSULFAN MORDENTITA HCL																		
2				Datos				Datos				Datos			Datos				
3	140	°C		T	413.15	K		PI	0.075	g		k	7.91E-06	mmol/ml			R	62.32	mmHg
4				Whc exp	30	mL/m		HA	19.9	cm		Whc c	16.26	ml/min				25747.508	
5				Wc	1	m		AA	33.240	cm2		Po a 25°C	413.15	mmHg					
6				P	900.07	mmHg		gc	0.75	g		PI	1495.07						
7				Tr	16.6	seg		AI	9	cm2		*p	1056.348						
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C			
9																			
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c			p								
11	1	19.9	cm	0.277	33.240	cm2	5.70E-03	mmol/g	1.57E-04	mmol/mL	4.05	mmHg							
12	2	18.0909091	cm	0.244	29.280	cm2	5.02E-03	mmol/g	1.43E-04	mmol/mL	3.69	mmHg							
13	3	16.2818182	cm	0.226	27.120	cm2	4.65E-03	mmol/g	1.29E-04	mmol/mL	3.32	mmHg							
14	4	14.4727273	cm	0.212	25.440	cm2	4.39E-03	mmol/g	1.15E-04	mmol/mL	2.95	mmHg							
15	5	12.6636364	cm	0.196	23.520	cm2	4.03E-03	mmol/g	1.00E-04	mmol/mL	2.58	mmHg							
16	6	10.8545455	cm	0.178	21.360	cm2	3.66E-03	mmol/g	8.59E-05	mmol/mL	2.21	mmHg							
17	7	9.0454545	cm	0.157	18.840	cm2	3.23E-03	mmol/g	7.16E-05	mmol/mL	1.84	mmHg							
18	8	7.2363636	cm	0.135	16.200	cm2	2.78E-03	mmol/g	5.73E-05	mmol/mL	1.47	mmHg							
19	9	5.4272727	cm	0.108	12.960	cm2	2.22E-03	mmol/g	4.29E-05	mmol/mL	1.11	mmHg							
20	10	3.6181818	cm	0.078	9.360	cm2	1.61E-03	mmol/g	2.86E-05	mmol/mL	0.74	mmHg							
21	11	1.8090909	cm	0.042	5.040	cm2	8.64E-04	mmol/g	1.43E-05	mmol/mL	0.37	mmHg							

Hojas de cálculo muestra intercambiada con AgNO3 AgHMOR

Figura 26. T: 300°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	ENDOSULFAN MORDENTITA AgHCl																		
2				Datos				Datos				Datos			Datos				
3	300	°C		T	573.15	K		PI	0.071	g		k	1.04E-05	mmol/ml			R	62.32	mmHg
4				Whc exp	30	mL/m		HA	20	cm		Whc c	29.89	ml/min				35718.708	
5				Wc	1	m		AA	13.817	cm2		Po a 25°C	573.15	mmHg					
6				P	900.07	mmHg		gc	0.75	g		PI	1495.07						
7				Tr	9.5	seg		AI	9	cm2		*p	1101.966						
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C			
9																			
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c			p								
11	1	20	cm	0.109	13.817	cm2	5.70E-03	mmol/g	2.07E-04	mmol/mL	7.40	mmHg							
12	2	18	cm	0.104	13.183	cm2	5.44E-03	mmol/g	1.86E-04	mmol/mL	6.66	mmHg							
13	3	16	cm	0.097	12.296	cm2	5.07E-03	mmol/g	1.66E-04	mmol/mL	5.92	mmHg							
14	4	14	cm	0.089	11.282	cm2	4.66E-03	mmol/g	1.45E-04	mmol/mL	5.18	mmHg							
15	5	12	cm	0.079	10.014	cm2	4.13E-03	mmol/g	1.24E-04	mmol/mL	4.44	mmHg							
16	6	10	cm	0.068	8.620	cm2	3.56E-03	mmol/g	1.04E-04	mmol/mL	3.70	mmHg							
17	7	8	cm	0.056	7.099	cm2	2.93E-03	mmol/g	8.28E-05	mmol/mL	2.96	mmHg							
18	8	6	cm	0.045	5.704	cm2	2.35E-03	mmol/g	6.21E-05	mmol/mL	2.22	mmHg							
19	9	4	cm	0.032	4.056	cm2	1.67E-03	mmol/g	4.14E-05	mmol/mL	1.48	mmHg							
20	10	2	cm	0.016	2.028	cm2	8.37E-04	mmol/g	2.07E-05	mmol/mL	0.74	mmHg							

Figura 27. T: 260°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	ENDOSULFAN MORDENTITA AgHCl																		
2				Datos				Datos				Datos			Datos				
3	260	°C		T	533.15	K		PI	0.074	g		k	1.13E-05	mmol/ml			R	62.32	mmHg
4				Whc exp	30	mL/m		HA	20	cm		Whc c	26.24	ml/min				33225.908	
5				Wc	1	m		AA	14.473	cm2		Po a 25°C	533.15	mmHg					
6				P	900.07	mmHg		gc	0.75	g		PI	1495.07						
7				Tr	10	seg		AI	9	cm2		*p	1090.145						
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C			
9																			
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c			p								
11	1	20	cm	0.119	14.473	cm2	5.70E-03	mmol/g	2.25E-04	mmol/mL	7.48	mmHg							
12	2	18	cm	0.114	13.865	cm2	5.46E-03	mmol/g	2.03E-04	mmol/mL	6.73	mmHg							
13	3	16	cm	0.106	12.892	cm2	5.08E-03	mmol/g	1.80E-04	mmol/mL	5.99	mmHg							
14	4	14	cm	0.098	11.919	cm2	4.70E-03	mmol/g	1.58E-04	mmol/mL	5.24	mmHg							
15	5	12	cm	0.088	10.703	cm2	4.22E-03	mmol/g	1.35E-04	mmol/mL	4.49	mmHg							
16	6	10	cm	0.076	9.243	cm2	3.64E-03	mmol/g	1.13E-04	mmol/mL	3.74	mmHg							
17	7	8	cm	0.063	7.662	cm2	3.02E-03	mmol/g	9.01E-05	mmol/mL	2.99	mmHg							
18	8	6	cm	0.049	5.959	cm2	2.35E-03	mmol/g	6.76E-05	mmol/mL	2.24	mmHg							
19	9	4	cm	0.034	4.135	cm2	1.63E-03	mmol/g	4.50E-05	mmol/mL	1.50	mmHg							
20	10	2	cm	0.019	2.311	cm2	9.10E-04	mmol/g	2.25E-05	mmol/mL	0.75	mmHg							

Figura 28. T: 220°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	ENDOSULFAN MORDENITA AgHCl																			
2				Datos				Datos				Datos				Datos				
3	220	°C		T	495.15	K		PCl	0.071	g		k	2.39E-06	mmol/ml			R	62.32	mmHg	
4				Whc exp	30	ml/m		Hd	20	cm		Whc c	74.39	ml/min				30733.108		
5				Wc	1	m		Ad	24.085	cm2		Po a 25°C	60093	mmHg						
6				P	900.07	mmHg		gc	0.75	g		Pi	1495.07							
7				Tr	10	seg		Acl	9	cm2		*p	40086.196							
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C				
9																				
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c	p											
11	1	20	cm	0.19	24.085	cm2	5.70E-03	mmol/g	4.77E-05	mmol/mL	1.47	mmHg								
12	2	18	cm	0.184	23.324	cm2	5.52E-03	mmol/g	4.30E-05	mmol/mL	1.32	mmHg								
13	3	16	cm	0.176	22.310	cm2	5.28E-03	mmol/g	3.82E-05	mmol/mL	1.17	mmHg								
14	4	14	cm	0.165	20.915	cm2	4.95E-03	mmol/g	3.34E-05	mmol/mL	1.03	mmHg								
15	5	12	cm	0.153	19.394	cm2	4.59E-03	mmol/g	2.86E-05	mmol/mL	0.88	mmHg								
16	6	10	cm	0.14	17.746	cm2	4.20E-03	mmol/g	2.39E-05	mmol/mL	0.73	mmHg								
17	7	8	cm	0.124	15.718	cm2	3.72E-03	mmol/g	1.91E-05	mmol/mL	0.59	mmHg								
18	8	6	cm	0.105	13.310	cm2	3.15E-03	mmol/g	1.43E-05	mmol/mL	0.44	mmHg								
19	9	4	cm	0.08	10.141	cm2	2.40E-03	mmol/g	9.55E-06	mmol/mL	0.29	mmHg								
20	10	2	cm	0.047	5.958	cm2	1.41E-03	mmol/g	4.77E-06	mmol/mL	0.15	mmHg								

Figura 29. T: 180°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	ENDOSULFAN MORDENITA AgHCl																			
2				Datos				Datos				Datos				Datos				
3	180	°C		T	453.15	K		PCl	0.073	g		k	1.13E-05	mmol/ml			R	62.32	mmHg	
4				Whc exp	30	ml/m		Hd	20	cm		Whc c	19.36	ml/min				28240.508		
5				Wc	1	m		Ad	19.603	cm2		Po a 25°C	453.15	mmHg						
6				P	900.07	mmHg		gc	0.75	g		Pi	1495.07							
7				Tr	11.3	seg		Acl	9	cm2		*p	1066.981							
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C				
9																				
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c	p											
11	1	20	cm	0.159	19.603	cm2	5.70E-03	mmol/g	2.25E-04	mmol/mL	6.36	mmHg								
12	2	18	cm	0.152	18.740	cm2	5.45E-03	mmol/g	2.03E-04	mmol/mL	5.73	mmHg								
13	3	16	cm	0.142	17.507	cm2	5.09E-03	mmol/g	1.80E-04	mmol/mL	5.09	mmHg								
14	4	14	cm	0.132	16.274	cm2	4.73E-03	mmol/g	1.58E-04	mmol/mL	4.45	mmHg								
15	5	12	cm	0.119	14.671	cm2	4.27E-03	mmol/g	1.35E-04	mmol/mL	3.82	mmHg								
16	6	10	cm	0.106	13.068	cm2	3.80E-03	mmol/g	1.13E-04	mmol/mL	3.18	mmHg								
17	7	8	cm	0.091	11.219	cm2	3.26E-03	mmol/g	9.01E-05	mmol/mL	2.54	mmHg								
18	8	6	cm	0.076	9.370	cm2	2.73E-03	mmol/g	6.76E-05	mmol/mL	1.91	mmHg								
19	9	4	cm	0.058	7.151	cm2	2.08E-03	mmol/g	4.51E-05	mmol/mL	1.27	mmHg								
20	10	2	cm	0.036	4.438	cm2	1.29E-03	mmol/g	2.25E-05	mmol/mL	0.64	mmHg								

Figura 30. T: 140°C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	ENDOSULFAN MORDENITA AgHCl																			
2				Datos				Datos				Datos				Datos				
3	140	°C		T	413.15	K		PCl	0.07	g		k	1.13E-05	mmol/ml			R	62.32	mmHg	
4				Whc exp	30	ml/m		Hd	20	cm		Whc c	16.26	ml/min				25747.508		
5				Wc	1	m		Ad	23.271	cm2		Po a 25°C	413.15	mmHg						
6				P	900.075	mmHg		gc	0.75	g		Pi	1495.075							
7				Tr	16	seg		Acl	9	cm2		*p	1056.351							
8				AT	1002.914			ma	4.28E-03			T c	298.15	K	25	°C				
9																				
10	n	h	Pg	S adsorción			a	c	p											
11	1	20	cm	0.181	23.271	cm2	5.70E-03	mmol/g	2.26E-04	mmol/mL	5.82	mmHg								
12	2	18	cm	0.173	22.243	cm2	5.45E-03	mmol/g	2.03E-04	mmol/mL	5.24	mmHg								
13	3	16	cm	0.169	20.957	cm2	5.13E-03	mmol/g	1.81E-04	mmol/mL	4.66	mmHg								
14	4	14	cm	0.151	19.414	cm2	4.76E-03	mmol/g	1.58E-04	mmol/mL	4.07	mmHg								
15	5	12	cm	0.137	17.614	cm2	4.32E-03	mmol/g	1.36E-04	mmol/mL	3.49	mmHg								
16	6	10	cm	0.123	15.814	cm2	3.87E-03	mmol/g	1.13E-04	mmol/mL	2.91	mmHg								
17	7	8	cm	0.107	13.757	cm2	3.37E-03	mmol/g	9.04E-05	mmol/mL	2.33	mmHg								
18	8	6	cm	0.09	11.571	cm2	2.83E-03	mmol/g	6.78E-05	mmol/mL	1.75	mmHg								
19	9	4	cm	0.07	9.000	cm2	2.20E-03	mmol/g	4.52E-05	mmol/mL	1.16	mmHg								
20	10	2	cm	0.043	5.529	cm2	1.35E-03	mmol/g	2.26E-05	mmol/mL	0.58	mmHg								