

## INTRODUCCIÓN

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos que poseen una estructura microporosa bien definida, razón por la cual son muy utilizadas a nivel industrial como tamices moleculares, catalizadores y adsorbentes<sup>1-3</sup>. Las zeolitas pueden ser sintéticas o naturales, donde estas últimas son abundantes y de bajo costo. El problema en la aplicación de estos materiales es su uso en forma de polvo, que genera dificultades en su manejo y extracción del medio donde se las está utilizando<sup>4</sup>. Una alternativa para aprovechar sus propiedades es incorporarlas en una matriz cerámica estructurada. En este trabajo, se muestra el desarrollo de monolitos cerámicos conformados con disposición tipo panel de abeja, sintetizados a partir de la zeolita natural clinoptilolita, denominados MCCI. Estos materiales fueron estudiados en la remoción de naranja de metilo (NM) y azul de metileno (AM), en los que se encontró un valor promedio de capacidad de remoción de 10 mg AM/g MCCI y valores bajos para NM (0,3 mg NM/g MCCI).

## OBJETIVO

Sintetizar y caracterizar Monolitos Cerámicos basados en Clinoptilolita y evaluar su desempeño como adsorbente en la remoción de los colorantes NM y AM

## MATERIALES Y MÉTODOS

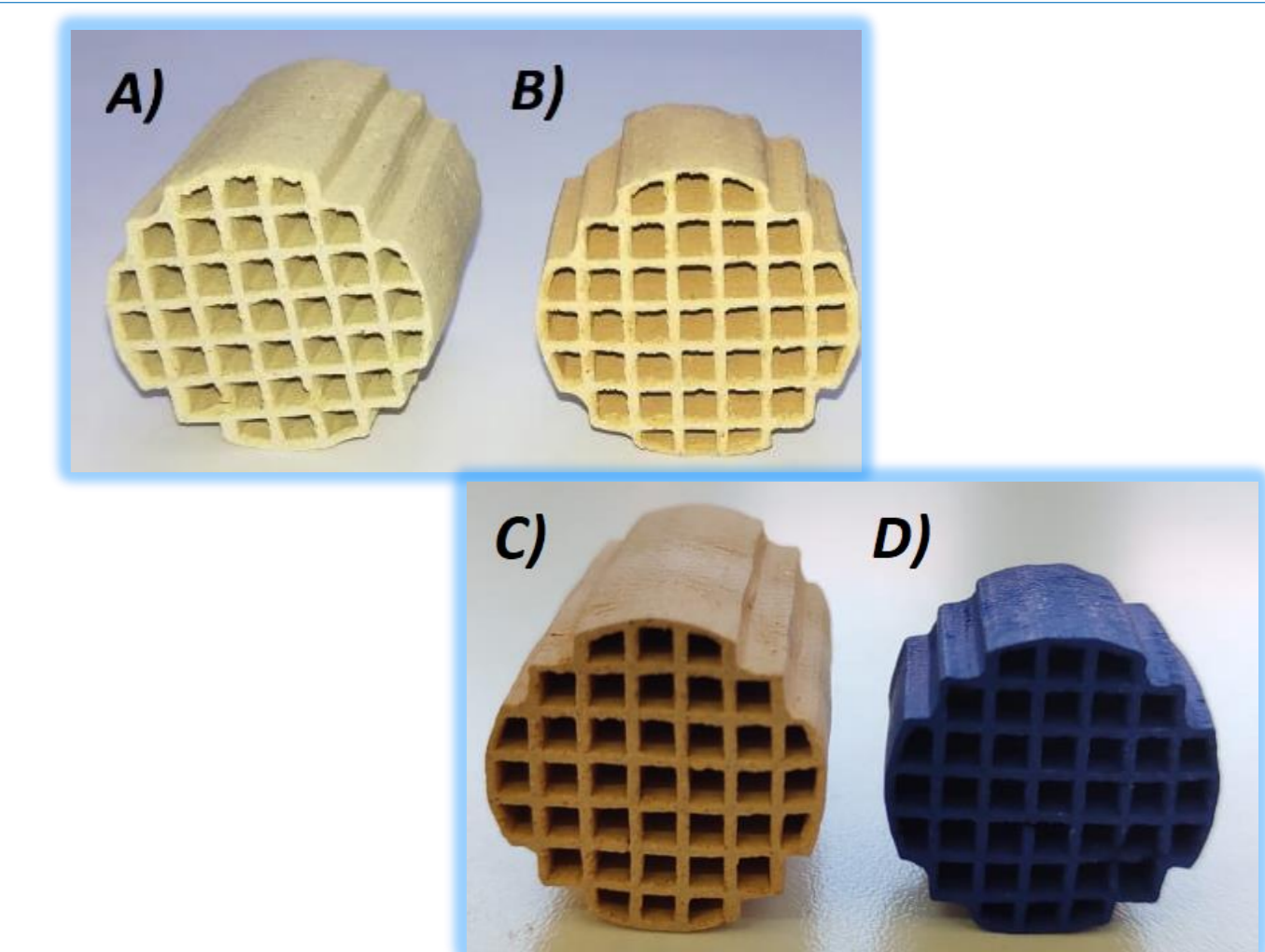
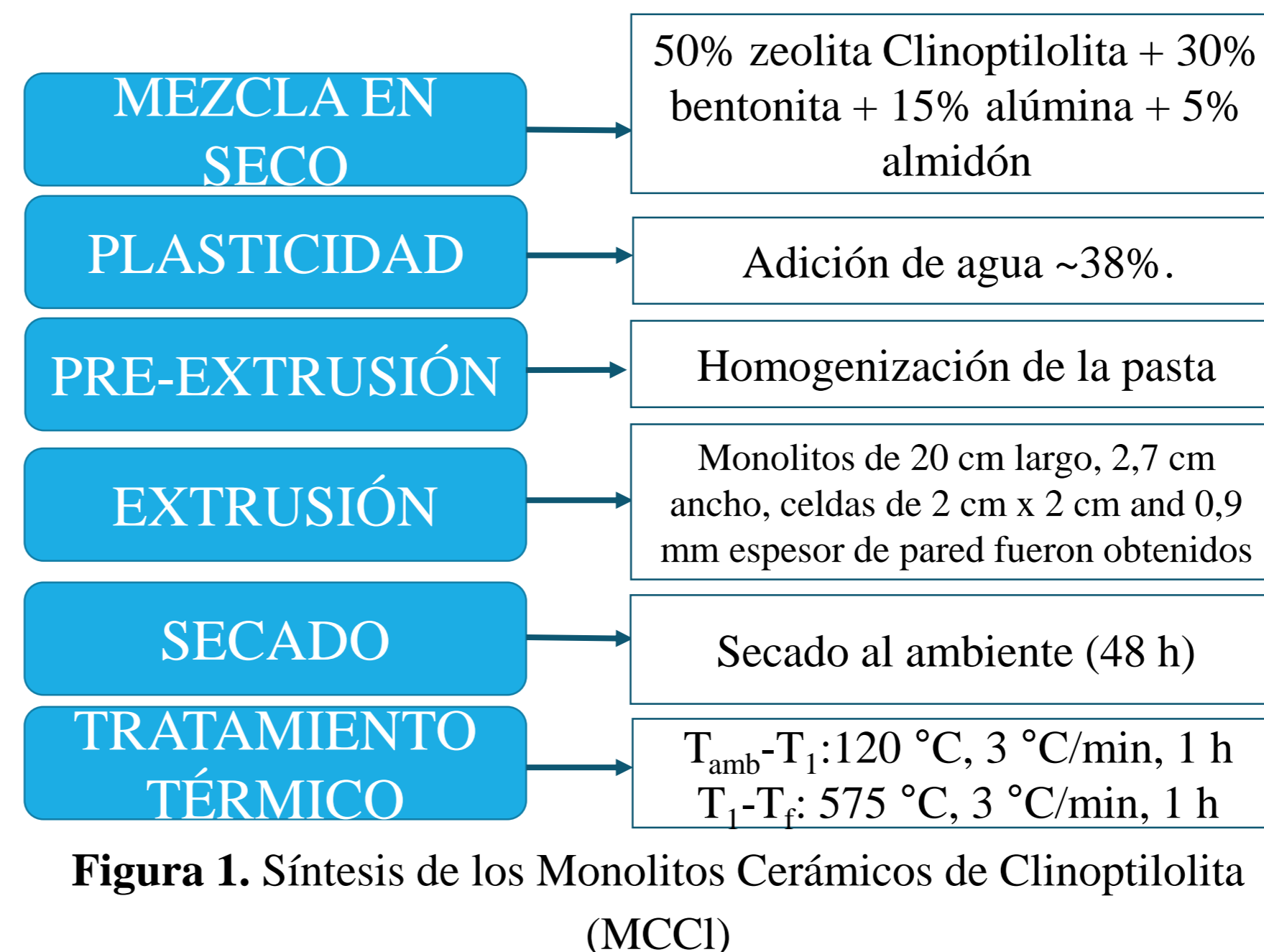


Figura 2. A) MC en verde (antes del tratamiento térmico), B) MCCI calcinado a 575°C, MCCI después de los experimentos de remoción de C) NM y D) AM.

## RESULTADOS

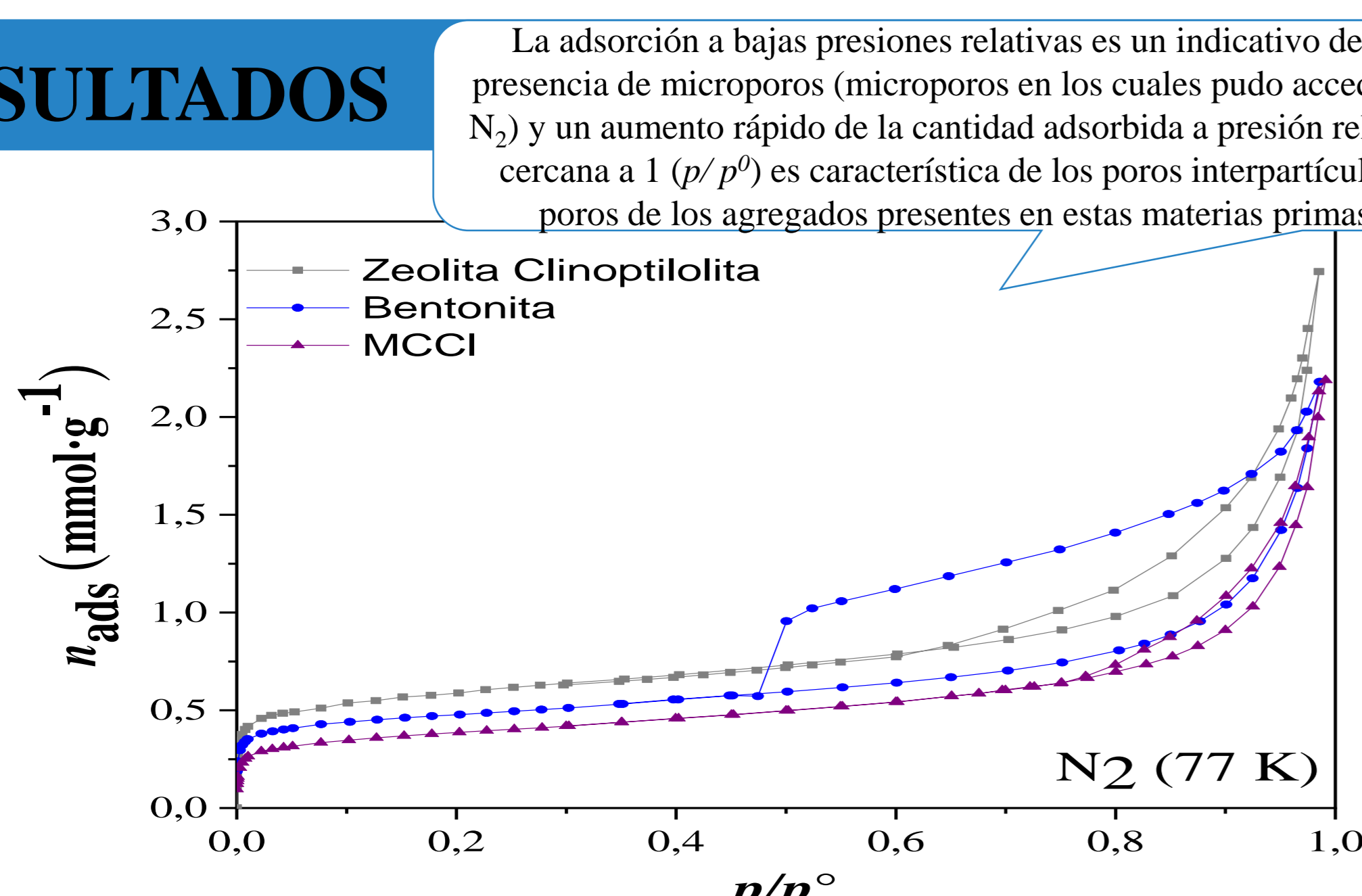


Figura 3. Isotermas de adsorción-desorción de N<sub>2</sub> a 77K del MCCI y de las materias primas

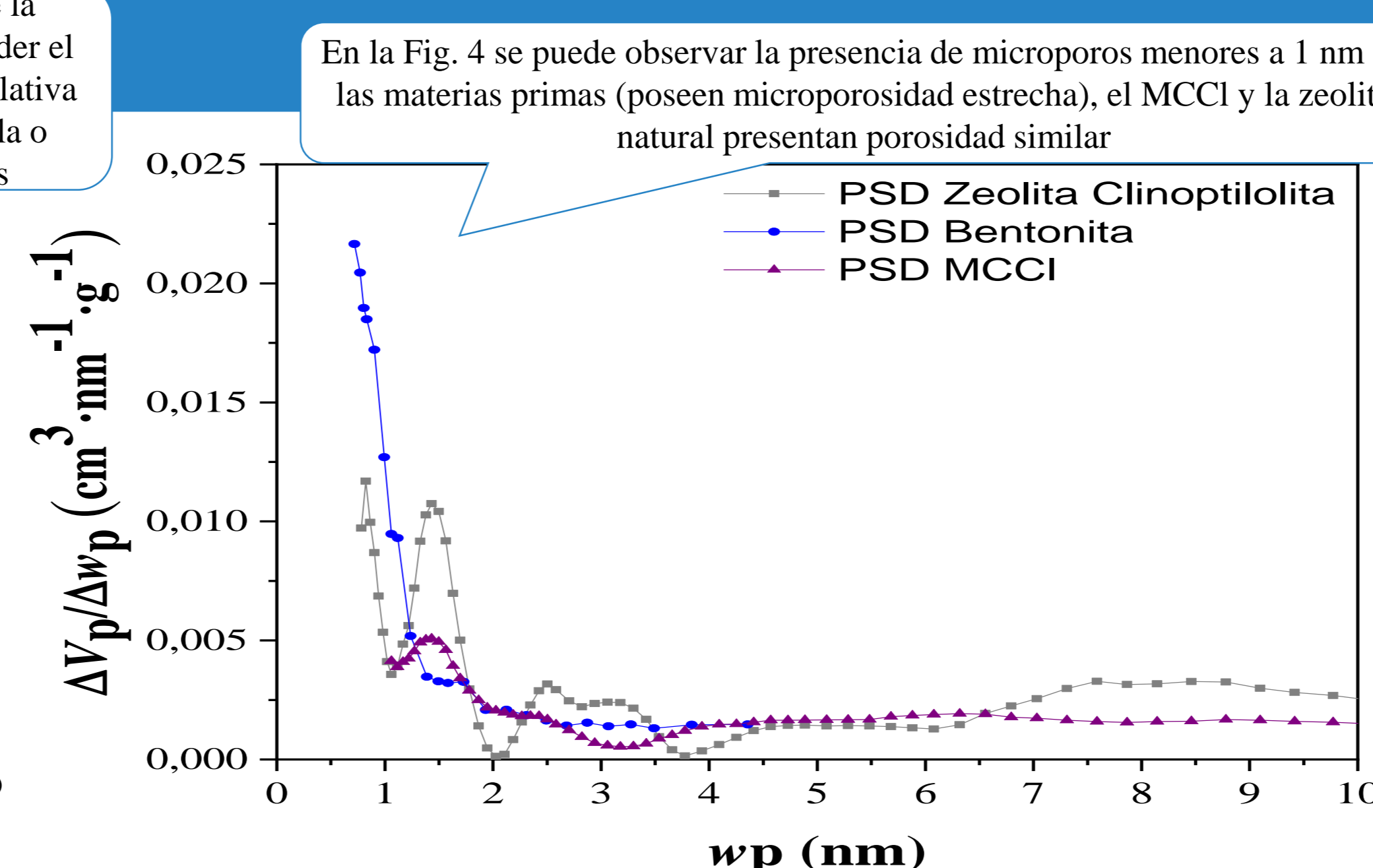


Figura 4. Distribución de tamaño de poro del MCCI y de las materias primas usando NLDFT

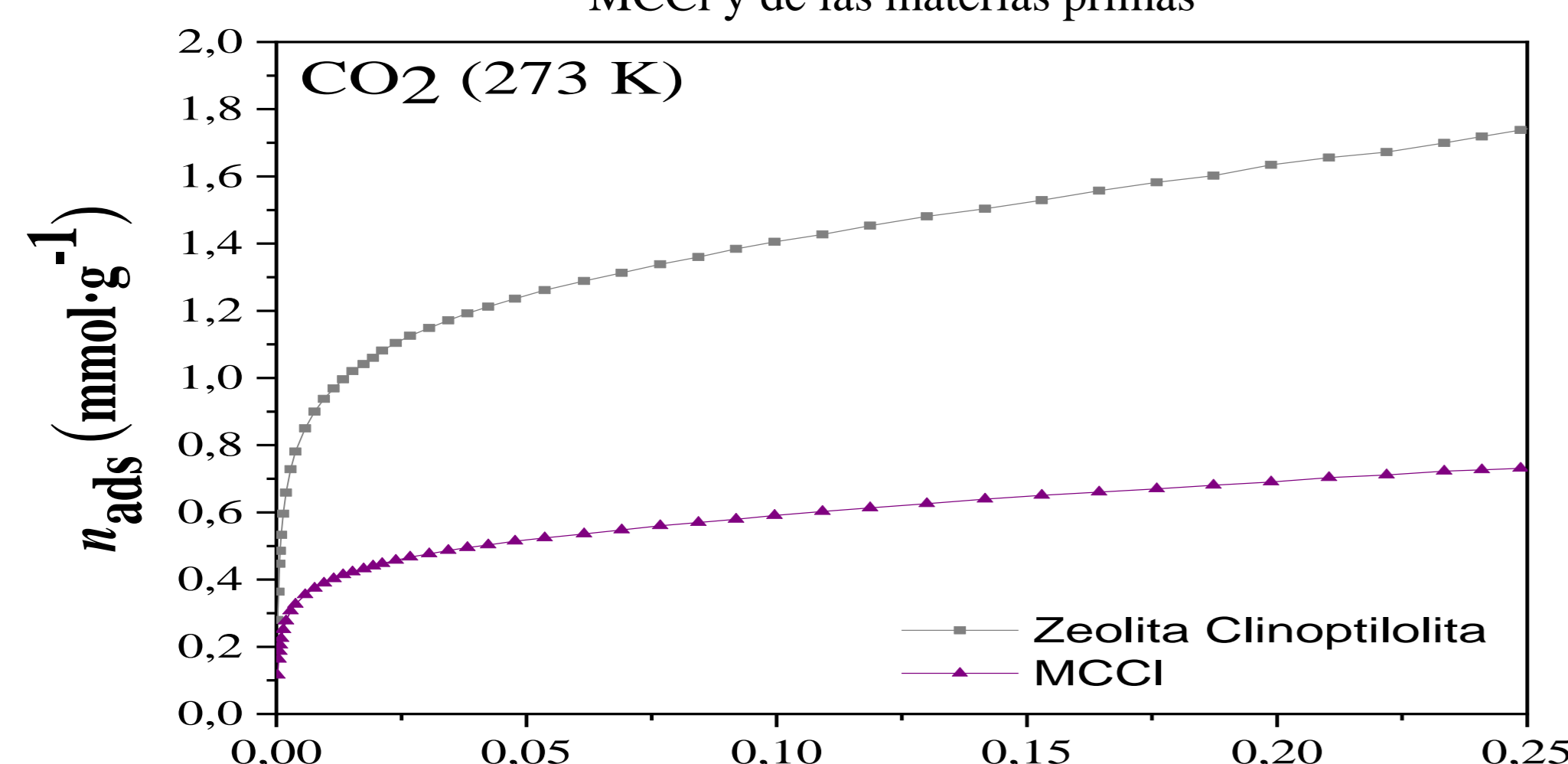


Figura 5. Isotermas de adsorción de CO<sub>2</sub> a 273 K del MCCI y de la zeolita clinoptilolita

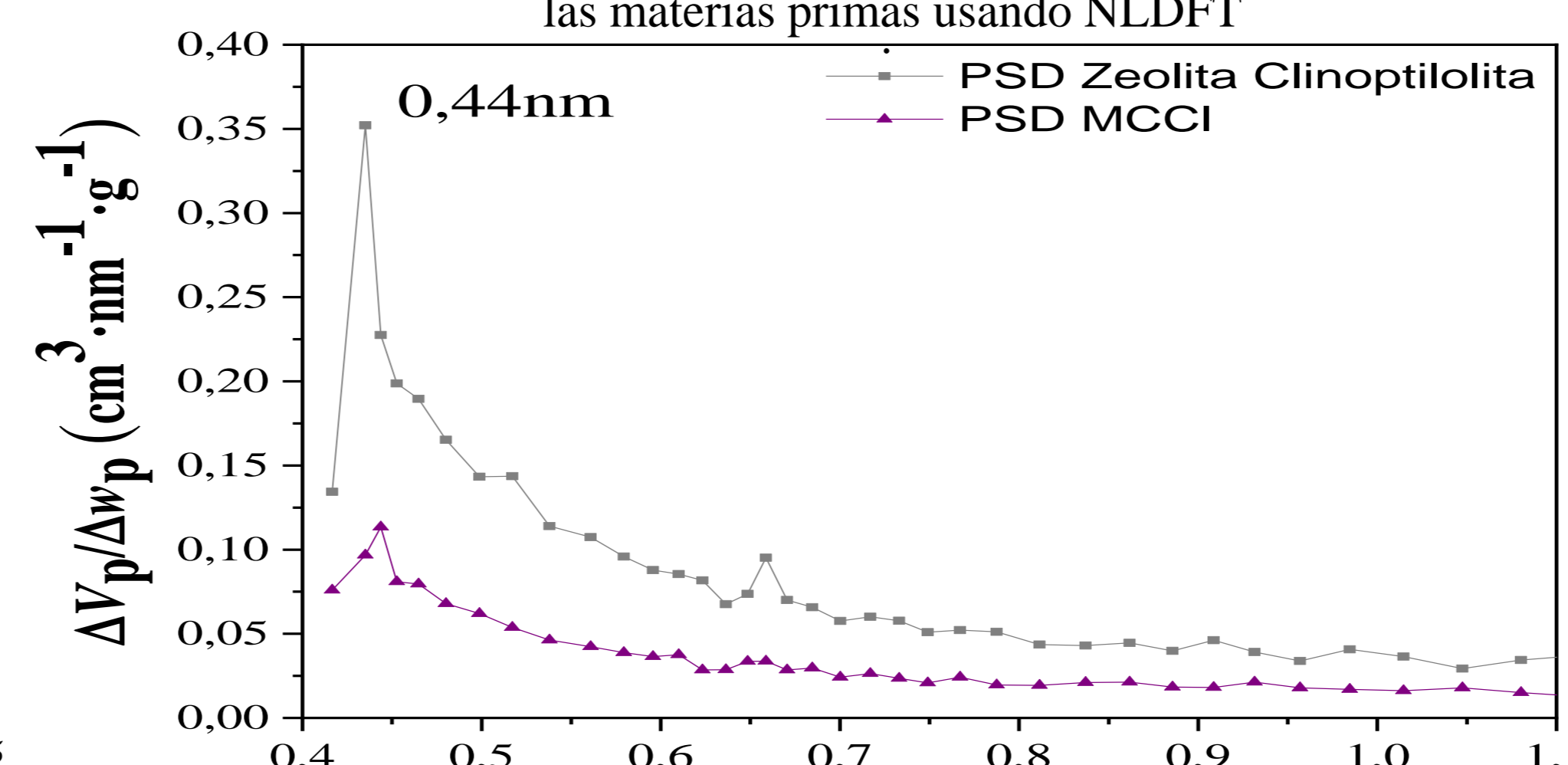


Figura 6. Distribución de tamaño de microporos del MCCI y de la zeolita clinoptilolita usando el método HK

En la Fig. 5 se puede observar que la zeolita natural muestra una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> adsorbido que el MCCI, esto es porque la microporosidad en el monolito proviene de zeolita natural que es el 50% de la materia prima utilizada para obtener el MCCI. En la Tabla 1 podemos ver que la zeolita natural presenta mayor volumen de microporos estrechos (0,07 cm<sup>3</sup>/g) que el MCCI (0,03 cm<sup>3</sup>/g) pero el tamaño modal de microporos (Fig. 6) es el mismo para ambos (0,44 nm). Con esto se puede concluir que con el CO<sub>2</sub> a 273 K se pudo caracterizar adecuadamente la microporosidad estrecha a diferencia que con N<sub>2</sub> a 77K que no puede ver este tipo de microporosidad

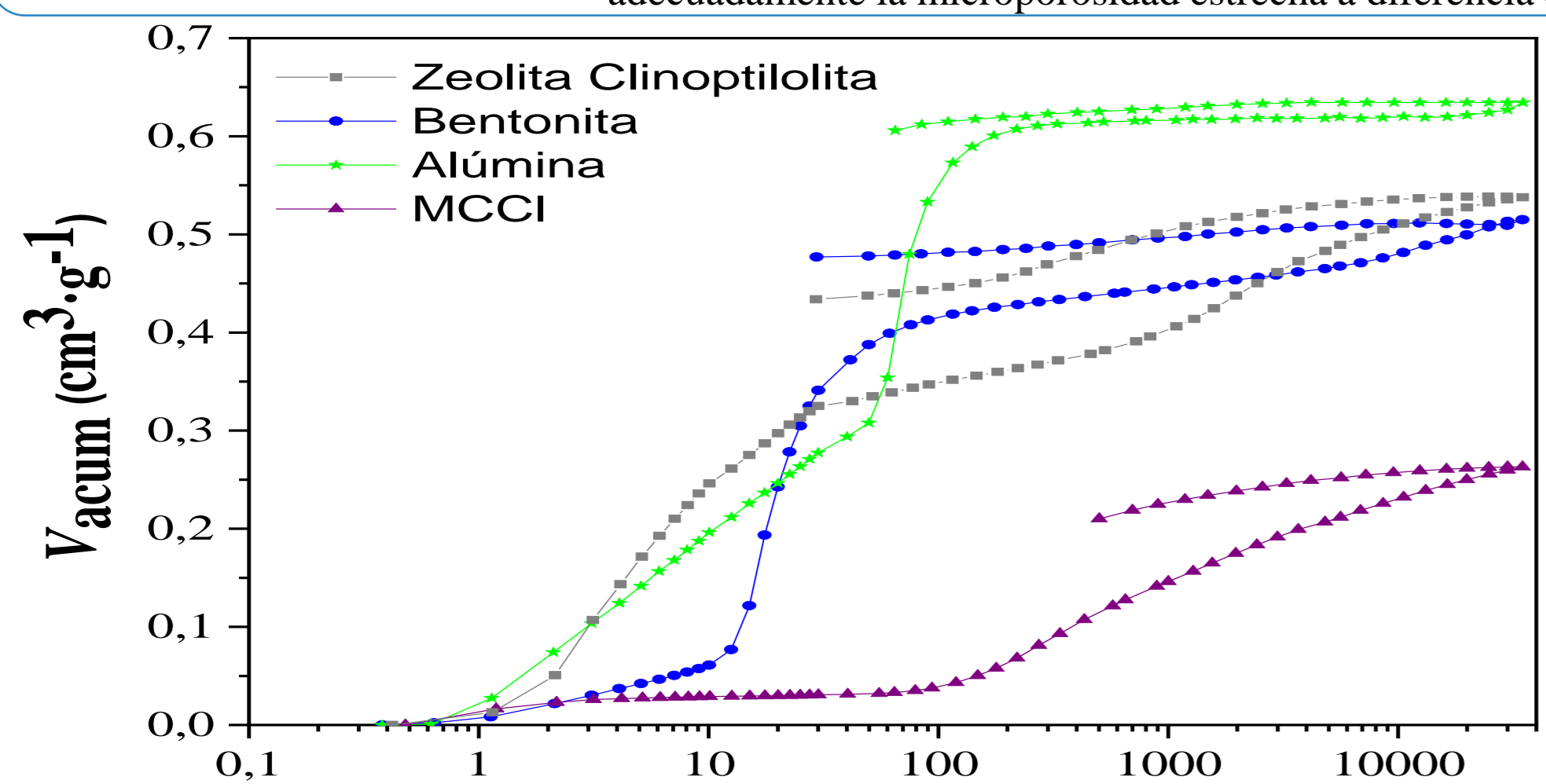


Figura 7. Curvas de intrusión-extrusión de Hg del MCCI y las materias primas

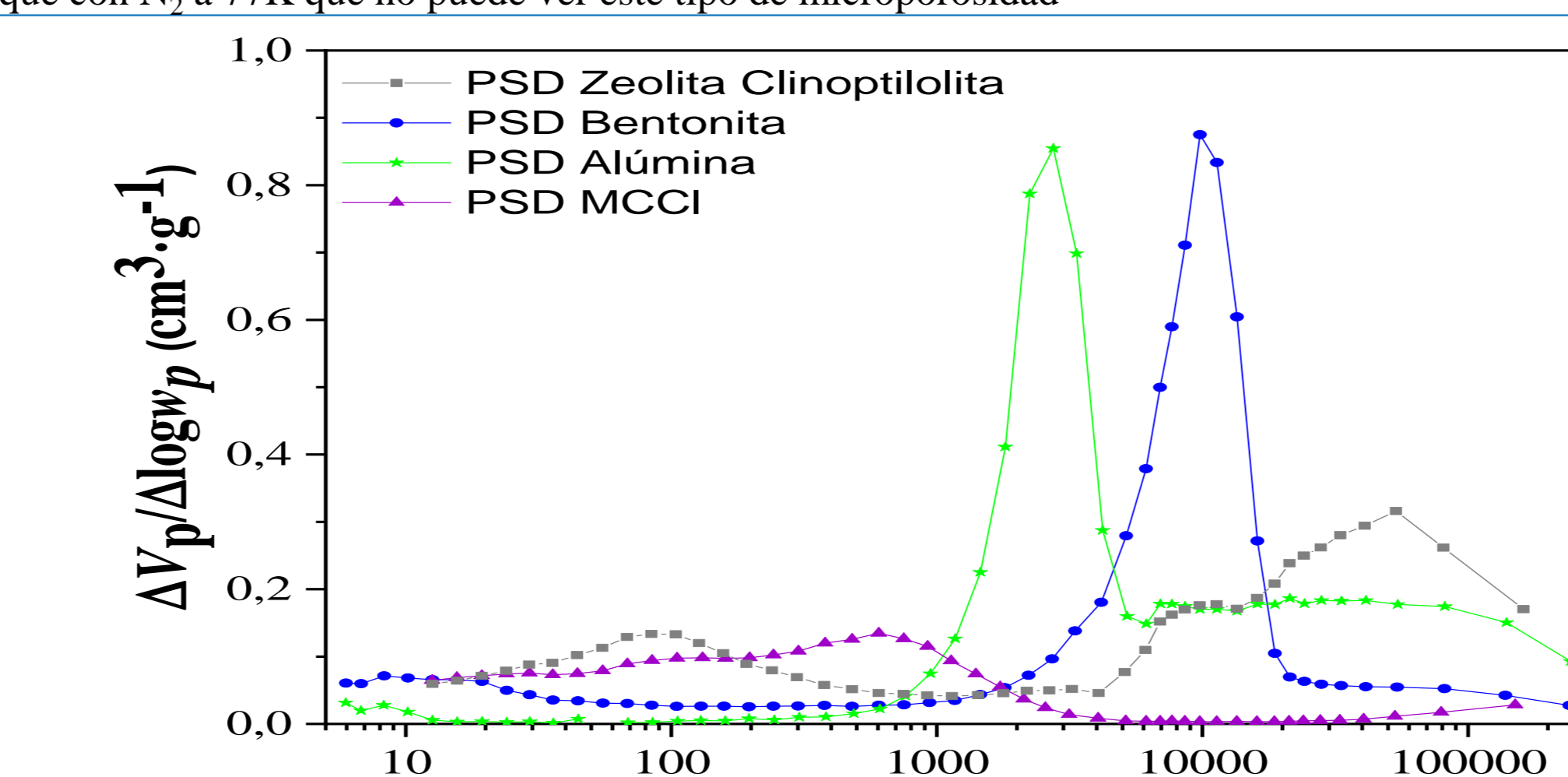


Figura 8. Distribución de tamaño de poro del MCCI y las materias primas obtenido de los datos de intrusión de Hg

Las curvas obtenidas para la alúmina y la bentonita muestran un incremento pronunciado del volumen acumulado y presentan una distribución de tamaño de poro estrecha, a diferencia de las curvas obtenidas para la zeolita natural y el MCCI que muestran un crecimiento gradual del volumen acumulado, lo que indica que tienen una amplia distribución de tamaño de poro. Se puede observar en la Figura 7 que la curva obtenida para el MCCI no muestra un crecimiento del volumen acumulado a bajas presiones (hasta 100 psia), lo que indica que el material no presenta grandes macroporos (> 1 μm) como los que presentan las materias primas tal como se puede observar en la Figura 8.

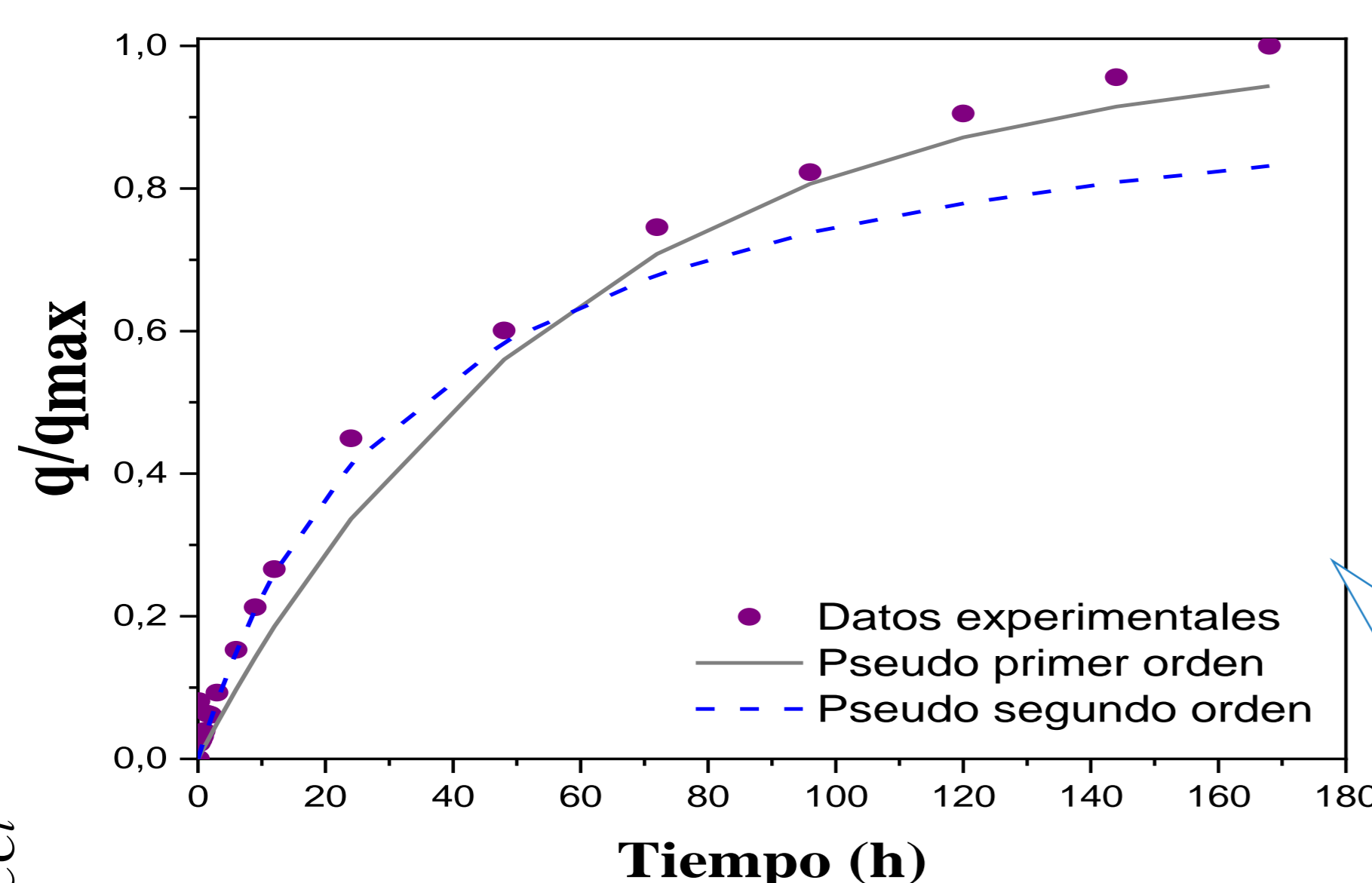


Figura 11. Cinética de adsorción de azul de metileno sobre el MCCI

Tabla 4. Parámetros cinéticos de los modelos de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden para la adsorción de AM sobre el MCCI

	Cinética pseudo-primer orden	Cinética pseudo-segundo orden
k <sub>ads(1)</sub>	0,017	0,003
k <sub>ads(2)</sub>		0,966
R <sup>2</sup>	0,981	0,966

Una lenta cinética de adsorción probablemente se debe a la lenta difusión del azul de metileno dentro de la estrecha microporosidad de la zeolita (0,44 nm). En tiempos cortos, la baja adsorción se puede atribuir a los sitios de borde hidroxilo de la montmorillonita presente en la arcilla bentonita, ya que presenta sitios activos antes de ser adsorbida en los microporos del monolito. Los datos experimentales, fueron ajustados a los modelos de pseudo primer y pseudo segundo orden, donde se encontró un mejor ajuste al modelo de pseudo primer orden por lo que la fisorción es el fenómeno que predomina en la adsorción. Al cabo de 7 días se logró una capacidad de remoción de 9,6 mg de AM por g de MCCI.

Tabla 1. Propiedades texturales del MCCI y las material primas. \*tamaño modal de microporo

	S <sub>BET</sub> [m <sup>2</sup> /g]	V <sub>TP</sub> [cm <sup>3</sup> /g]	V <sub>μP</sub> [cm <sup>3</sup> /g]	V <sub>μP-CO2</sub> [cm <sup>3</sup> /g]	*w <sub>p</sub> [nm]
Zeolita Cli.	47	0,10	0,01	0,07	0,44
Bentonita	40	0,07	0,01	-	-
Alúmina	1	0,01	0,00	-	-
NZCM	31	0,07	0,00	0,03	0,43

Tabla 2. Propiedades texturales de los meso y macroporos del MCCI y las material primas..

	A <sub>TP</sub> [m <sup>2</sup> /g]	V <sub>TP-Hg</sub> [cm <sup>3</sup> /g]	Porosidad [%]	ρ <sub>bulk</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	ρ <sub>esqueleto</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]
Zeolita Cli.	20,4	0,54	56	0,9	1,8
Bentonita	18,5	0,51	57,6	1,1	2,6
Alúmina	4,60	0,63	70,4	1,1	3,8
MCCI	21,3	0,26	38,6	1,5	2,4

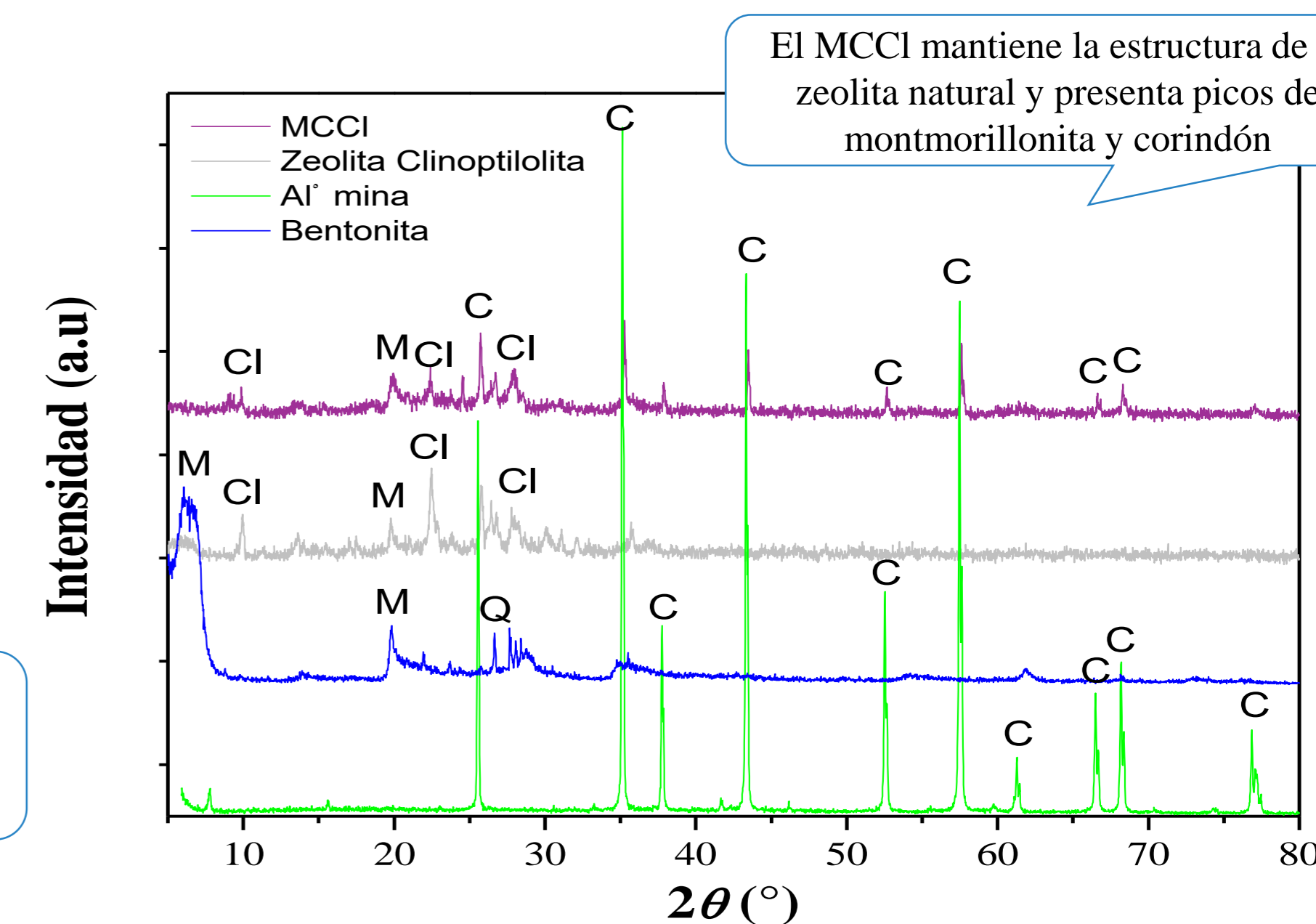


Figura 9. Difractograma del MCCI y las materias primas; M: Montmorillonita, Cl: Clinoptilolita, C: Corindón, Q: Cuarzo

El MCCI presentó excelentes propiedades mecánicas, con un esfuerzo de compresión (14 MPa) similar a materiales cerámicos comerciales de alúmina y cordierita, y muy bajos porcentajes de pérdida de masa por lixiviación en contacto con soluciones a diferentes pH.

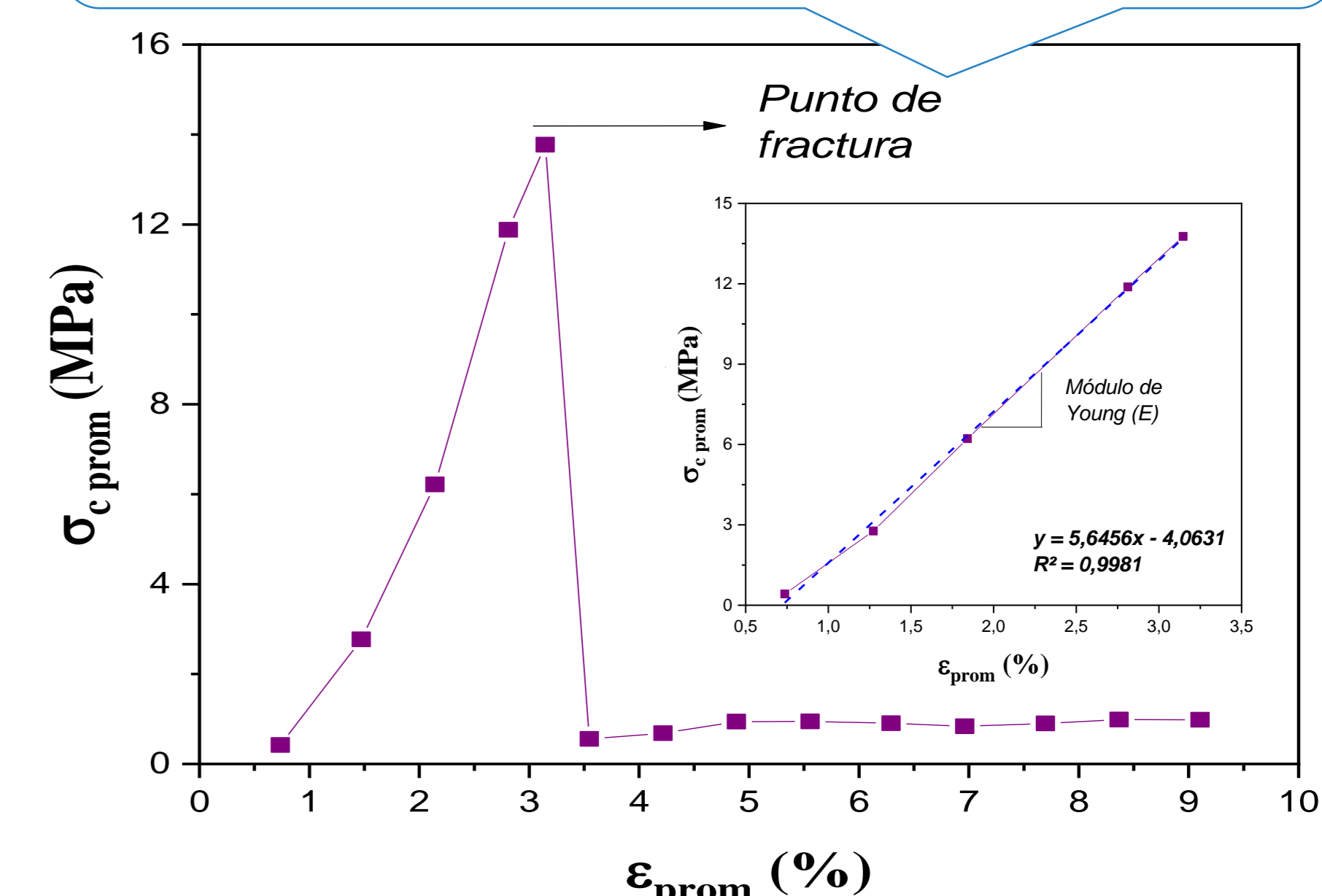


Figura 10. Curva de esfuerzo (σ<sub>c</sub>) vs deformación (ε) del MCCI

Tabla 3. Resultados de pérdida de masa (por lixiviación) del MCCI en contacto con medios acuosos a diferentes pH.

	pH ácido (~2)	pH básico (~12)
P <sub>seco*</sub> (g)	0,4086	0,4091
P <sub>final**</sub> (g)	0,4082	0,4057
Pérdida (%)	0,04	0,34

## CONCLUSIONES

- Se obtuvieron materiales cerámicos de zeolita, bentonita y alúmina sintetizados a 575 °C para su aplicación en la remoción de colorantes en medio acuoso.
- La microporosidad del material está dada principalmente por zeolita (principales sitios de adsorción), la meso y macroporosidad principalmente dada por la bentonita y la alúmina, así como la resistencia mecánica en medio acuoso.
- Si bien no se obtuvo altos valores de capacidad de remoción de los colorantes con el monolito cerámico, en el presente trabajo se evidenciaron las ventajas de utilizar el MCCI en efluentes, su facilidad de manejo y la mejora significativa en las propiedades mecánicas sobre las materias primas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Van Speybroeck., *Chem Soc Rev.* **2015.** 44(20), 7044–7111.
- Rida, K., *Applied Clay Sci.*, **2013.** 83, 99–105.
- Sarma, G., *Sep. Sci. & Tech.*, **2011.** 46(10), 1602–1614.
- Ávila, P., *Chem. Eng. J.*, **2005.** 109, 11–36.