



**Vol. 25, No 3, 4**  
**Julio - Diciembre 2017**

# CIENTIFICA



**An International Refereed Scientific Journal**  
**of the Facultad Experimental de Ciencias**  
**at the Universidad del Zulia**

Esta publicación científica en  
formato digital es continuidad  
de la revista impresa

Depósito Legal: pp 199302ZU47

ISSN: 1315-2076

CIENCIA 25 (3,4), 136 - 142, 2017  
Maracaibo, Venezuela

## Síntesis y caracterización de materiales mesoporosos bimodales Ti-UVM-7 por incorporación directa en el gel de partida

*Roberto Campos<sup>1</sup>, Juan Primera<sup>2,4</sup>, Pedro Amorós<sup>3</sup>, Lenin Huerta<sup>1\*</sup>*

1 Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Laboratorio de Nuevos Materiales, 4001, Venezuela

2 Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Ciencias Agrícolas, Portoviejo, 130105, Ecuador.

3 Universidad de Valencia, Instituto de Ciencia de los Materiales (ICMUV), España

4 Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Departamento de Física, 4001, Venezuela

Recibido: 30-10-2017 Acetado: 18-12-2017

### Resumen

En este trabajo se estudió la síntesis de sólidos mesoporosos bimodales Ti-UVM-7, empleando la estrategia de síntesis conocida como la vía de los atranos, con la incorporación del Ti en el gel de síntesis en relaciones molares Si/Ti de 10, 25, 50 y 100. Las caracterizaciones empleadas fueron: difracción de rayos X, isotermas de adsorción-desorción de  $N_2$ , microscopía electrónica de transmisión y energía dispersiva de rayos X. Para todos los sólidos, los patrones de DRX presentaron picos alrededor de 2,02 grados de  $2\theta$ , las isotermas fueron del tipo IV, con dos saltos de volumen a presiones relativas de 0,4 y 0,9 típico de los materiales UVM-7 y las áreas superficiales BET fueron de 1216 a 128  $m^2/g$ , disminuyendo en la medida que el contenido de Ti se fue incrementando (disminución de la relación Si/Ti). La cantidad de Ti incorporado fue muy similar a la inicial incorporada en el gel de síntesis, excepto para el sólido de relación molar de Si/Ti de 100 (inicial), que sólo llegó a Si/Ti=127.

**Palabras claves:** atrano, bimodal, mesoporosos, titanio.

### Synthesis and Characterization of bimodal mesoporous materials Ti-UVM-7 by direct incorporation into the starting gel.

### Abstract

In this work, it was studied the synthesis of bimodal mesoporous solids Ti-UVM-7, using the synthesis strategy known as the atrane way, with incorporation of Ti into synthesis gel in Si/Ti molar ratios of 10, 25, 50 and 100. The characterizations used were: X-ray diffraction,  $N_2$  adsorption-desorption isotherms, transmission electron microscopy and X-ray energy dispersive. For all solids, X-ray patterns showed peaks around 2.02 degrees of  $2\theta$ , isotherms were type IV, with two volume steps at relative pressures of 0.4 and 0.9, typical of UVM-7 materials, and BET surface areas of 1216 to 128  $m^2/g$ , decreasing as the content of Ti increased (decrease of the Si / Ti molar ratio). The amount of Ti incorporated was too similar to that initial placed in the synthesis gel, except for the solid with a Si/Ti molar ratio of 100 (initial), which only reached Si / Ti = 127.

**Keyword:** atrane, mesoporous, bimodal, titanium.

\* Autor de correspondencia: [ljhuerta@gmail.com](mailto:ljhuerta@gmail.com)

## Introducción

La síntesis de materiales mesoporosos ha involucrado múltiples estrategias, donde una de las más conocidas, y que significó un cambio en la síntesis de materiales, fue la realizada por Kresge y col. (1), quienes abrieron el camino para una familia de materiales mesoporosos denominados M41S(2). En la misma familia de los materiales mesoporosos se han desarrollado sólidos con dos sistemas de poro, los cuales, dependiendo de la forma en la que son sintetizados, pueden presentar una combinación del tipo micro-meso, meso-macro y micro-macro, donde el tipo de combinación de porosidades determina la utilidad que se le vaya a dar al sólido, por ejemplo, en algunas reacciones catalíticas es imprescindible un tamaño de poro acorde con la reacción, ya que este efecto influirá en los productos obtenidos en la reacción realizada (3).

Esta familia de materiales ha sido ampliamente utilizada como adsorbentes, modificando su estructura, y como soporte catalítico, con la incorporación de elementos activos en su estructura o soportados en ellos (3). Siendo un problema abierto la influencia de dichos elementos activos sobre la estructura del material resultante, particularmente su incorporación directa en la síntesis o en métodos postsíntesis (4).

En tal sentido, el titanio es uno de los elementos que presenta gran interés, siendo utilizado en fotocatalisis (5-7), epoxidación (8), remediación ambiental (9), en sólidos con propiedades antibacterianas y antimicrobianas (10, 11), captura selectiva de fosfopeptidos (12), aplicaciones biomédicas (13), entre otros.

Desde hace tiempo hasta el presente se vienen llevando a cabo estudios que involucran la incorporación de titanio sobre diferentes soportes, aunque principalmente en materiales mesoporosos ya que estos aportan poros amplios que permiten la entrada y salida fácil de reactivos y productos (14-21)

Dentro de los métodos de síntesis con la incorporación de elementos activos, destacamos el conocido como la vía de los atranos (22, 23), que aporta una forma sencilla, de química sol-gel, para la síntesis de materiales mesoporosos, que permiten incorporar una gran variedad de heteroelementos en la estructura (23), evadiendo además el problema de la segregación de fases, lo cual conlleva a una menor dispersión de la especie con la consecuente pérdida del aprovechamiento de sus propiedades (24, 25). Este método de síntesis se ha ampliado para obtener materiales con sistemas de poros bimodales, denominados UVM-7 (26), que presentan mesoporos y macroporos a la vez, dándole una mayor accesibilidad a los sitios activos.

Con todo lo anterior, el presente estudio continúa con la exploración de las posibles aplicaciones del método de síntesis conocido como la vía de los atranos, incorporando el titanio directamente en el gel de síntesis, comparando estos resultados con los de un trabajo previo (27) donde se introdujo titanio por impregnación post síntesis de la UVM-7.

## Materiales y métodos

### Reactivos, materiales y equipos

Los reactivos utilizados fueron: silicato de tetraetilo (abreviado como TEOS) 98% marca Sigma-Aldrich, 2,2',2''-Nitrilotrietanol (abreviado como TEA) grado reactivo marca Reproquímica, bromuro de N,N,N-trimetil,1-hexadecan-amino (abreviado como CTAB), agua desionizada, y el material de vidrio necesario para llevar a cabo los experimentos. Los equipos utilizados fueron: Seifert 3000T con una fuente de radiación de CuK $\alpha$  para realizar los difractogramas, Micromeritics ASAP 2010 para realizar las isoterms, Microscopio Electrónico de Transmisión Philips TM10 para realizar las microfotografías, Shimadzu EDX – 700HS Energía Dispersiva de Rayos X (EDX) con lámpara de rodio para la determinación de la composición química.

### Síntesis de UVM-7

El gel de partida se obtuvo utilizando el método descrito por Huerta y col. (28). El sólido obtenido (UVM-7 mesoestructurado) fue separado por filtración, lavado varias veces con agua desionizada y secado a 120°C por una noche. La materia orgánica (surfactante) se eliminó calcinando el sólido mesoestructurado a 540°C por 4 h, alcanzando esta temperatura a 1°C/min, obteniendo el sólido mesoporoso UVM-7.

### Síntesis de Ti-UVM-7 con incorporación directa en la solución sol-gel

Se utilizó el mismo método descrito para la síntesis del UVM-7, en las relaciones molares de 2M : 7TEA : 0,52CTAB : 180H<sub>2</sub>O, donde M es la suma de los moles de Si y Ti, en relaciones molares de Si/Ti en el gel de síntesis de 10, 25, 50 y 100. Se utilizó el isopropóxido de titanio como fuente de Ti.

### Caracterización de los sólidos

Los patrones de Difracción de Rayos X (DRX) se registraron entre 0,65 y 10 grados de 2 $\theta$ , con un paso de 0,02° (2 $\theta$ ) y tiempos de adquisición de 3 s/paso.

Para las isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno se trató la muestra previamente para desgasificarla a 200 °C en vacío hasta alcanzar una presión residual de 0,04 torr. El cálculo de la Distribución de Tamaño de Poro (DTP) se realizó utilizando las ecuaciones de Barret, Joyner y Halenda (BJH) (29). Las gráficas de distribución de tamaño de poro (DTP) están expresadas en derivada del volumen entre la derivada del logaritmo del diámetro de poro. El área superficial específica de los sólidos se determinó aplicando las ecuaciones de Brunauer, Emmet y Teller (BET) (30), en el rango donde son lineales (entre 0,05 y 0,2 p/p). Los volúmenes de poro se determinaron por el método BJH(29).

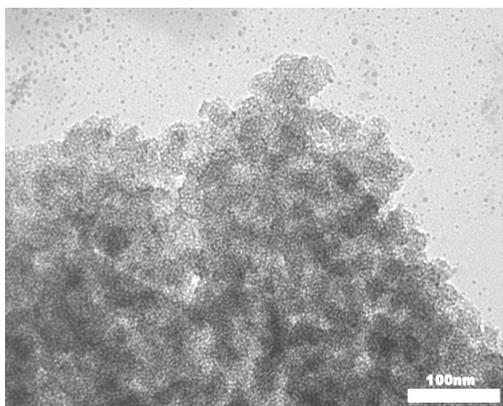
Para la Microscopia Electrónica de Transmisión (MET), las muestras se suspendieron en etanol, se impregnó el portamuestra con esta suspensión, se secó y se colocó en el equipo, trabajando a 100 kV.

Para las medidas de composición química los sólidos se colocaron en un portamuestra para su medición.

## Resultados y discusión

### Caracterización del material UVM-7

Para efectos comparativos, se sintetizó el material UVM-7 sin ningún heteroelemento incorporado. En la figura 1 se pueden observar, en microfotografía lograda mediante MET, las características morfológicas del material UVM-7. El material UVM-7 está constituido esencialmente por conglomerado de partículas pseudoesféricas que tienen un diámetro de aproximadamente 25 nm, las cuales se agrupan entre sí, dejando espacios abiertos que forman los sistemas de macroporos. Los sistemas de mesoporos se observan como pequeños puntos blancos que se ordenan de forma pseudo hexagonal dentro de las partículas (26, 28).



**Figura 1.** Microfotografía electrónica por TEM del sólido UVM-7 calcinado. Tomado de Campos y col (22), con permiso de reproducción.

Las otras caracterizaciones del material UVM-7, identificado con el símbolo  $\infty$  (infinito), se muestran en las figuras 2, 3, y 5.

En la figura 2 (isoterma), se observan claramente dos saltos de presión, uno ubicado alrededor de 0,4 P/P<sub>0</sub> y el otro a 0,9 P/P<sub>0</sub>, los cuales corresponden al llenado de los mesoporos y macroporos respectivamente, saltos de presión propios de una isoterma tipo IV (31). También se puede observar un ciclo de histéresis de tipo HI (31). A partir de estos resultados de adsorción-desorción y utilizando la ecuación de BET (30), se determinó el área superficial del sólido, que es de 1052 m<sup>2</sup>/g para el material calcinado. Partiendo de la isoterma y utilizando la ecuación de BJH (29), se calculó la DTP para este sólido, la cual se muestra en la figura 4. Aquí se observa claramente el carácter bimodal (dos sistemas de poro) del material, encontrando mesoporos en el orden de los 2,9 nm y macroporos de 73,2 nm, obteniendo a su vez un volumen total de poro de 1,079 cm<sup>3</sup>/g.

En el patrón de difracción presentado en la figura 6, se observa un pico en 2,08 grados de 2 $\theta$  (4,24 nm), el cual corresponde al plano *d*<sub>100</sub> y un hombro de menor intensidad en 4,03 grados de 2 $\theta$  (4,90 nm), que corresponde a los planos solapados *d*<sub>110</sub>, y *d*<sub>200</sub>. Este patrón es característico de un arreglo pseudo hexagonal, propio de los sólidos UVM-7 (26, 28).

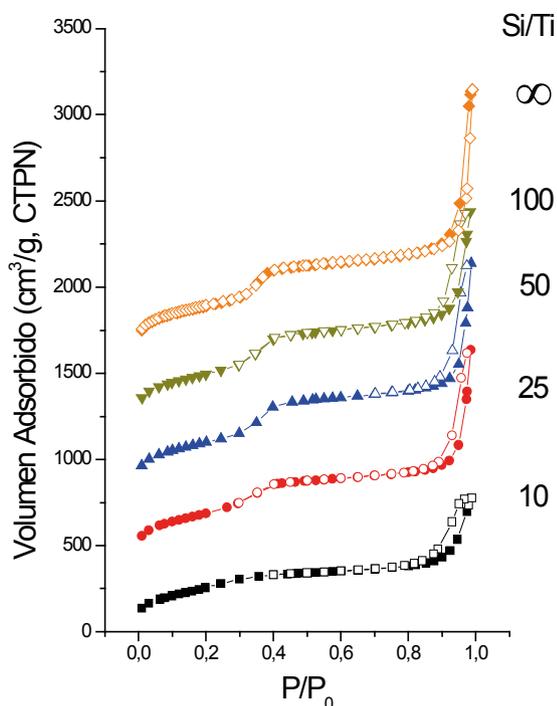
Estos resultados de las caracterizaciones de la UVM-7 concuerdan con lo reportado previamente en la literatura, demostrando la reproducibilidad del método (26, 28).

### Materiales Ti-UVM-7 con incorporación directa en la solución sol-gel

#### Propiedades texturales

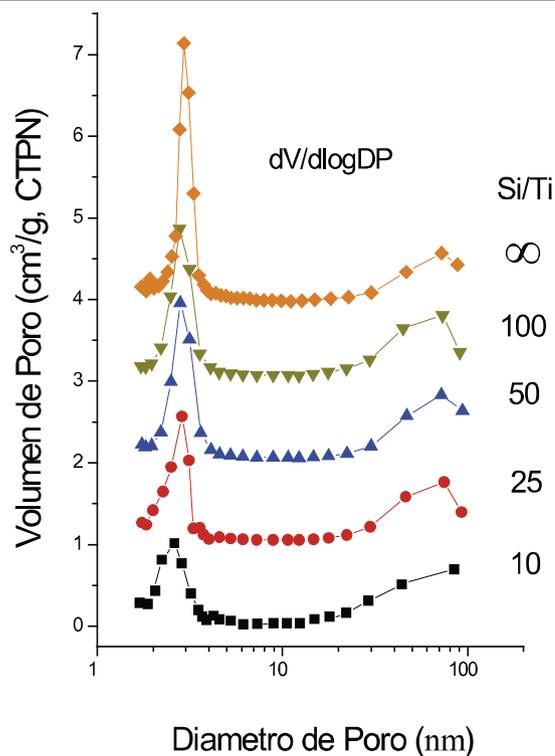
Las isotermas se presentan en la figura 2, en las cuales se observa que son del tipo IV (31), típicas de los materiales UVM-7, mostrando para todos los sólidos dos saltos de volumen, el primero a presiones relativas  $0,2 \leq P/P_0 \leq 0,4$  que corresponde a un sistema mesoporoso, y el segundo a presiones entre  $0,9 \leq P/P_0 \leq 1,0$  asignado a un sistema macroporoso. También se observa como el salto de volumen adsorbido en la región de los mesoporos, se muestra modulado por la incorporación del Ti (disminución en la relación Si/Ti), indicando en términos relativos una mayor mesoporosidad en relaciones intermedias de Si/Ti de 50. Para la zona de los macroporos, la isoterma pareciera indicarnos un aumento sistemático de la cantidad de macroporos cuando el Ti se incorpora directamente en el gel de síntesis, respecto a cuando se incorpora por impregnación post síntesis (27). Estas tendencia

se confirma más adelante cuando se discuten los volúmenes de poro.



**Figura 2.** Isotermas de adsorción de N<sub>2</sub> a 77 K. Separadas en 400 cm<sup>3</sup>/g.

Para la DTP de cada uno de los sólidos sintetizados, la cual se presenta en la figura 3, se observa un pico intenso para todos los sólidos con un máximo a 2,8 nm que corresponde al sistema de mesoporos ligeramente mayor que los obtenidos al incorporar Ti por impregnación (2,5 nm), debido a que este último ocupa la superficie del poro, dejando una capa que engruesa la pared del poro (27). Respecto a los macroporos, en términos generales, permanecen con muy pocos cambios en cuanto a la posición del pico en la medida que disminuye la relación Si/Ti, pero en el sólido Si/Ti de 25, el pico se desplaza hacia tamaños mayores, y a Si/Ti de 10 no se alcanza a identificar el máximo. Adicionalmente, las muestras logradas por impregnación muestran una mayor macroporosidad, resultado este de esperar teniendo en cuenta el aumento de tamaño de partícula reportado para este tipo de síntesis (27). También se observa para ambos tipos de síntesis que al aumentar la cantidad de titanio incorporado hay una tendencia a la disminución de la mesoporosidad y un aumento de la macroporosidad (26, 28).



**Figura 3.** Distribución de tamaño de poro por BJH. Separadas en 1 cm<sup>3</sup>/g.

La figura 4 corresponde a las gráficas de área superficial y volúmenes de poro, con diferentes relaciones Si/Ti. En esta figura se observa el aumento en el área superficial y en el volumen del mesoporo, a medida que aumenta la relación Si/Ti para luego estabilizarse este último entre las relaciones de Si/Ti = 50 y 100. Por otro lado, en lo que respecta a los volúmenes totales y de mesoporo grande, se observa que estos aumentan hasta alcanzar un máximo a una relación Si/Ti de 50. El aumento en la incorporación de Ti conduce a la disminución del área y volúmenes de poros, disminución que es mucho más pronunciada en el sólido que tiene más Ti (Si/Ti=10), lo cual podría ser debido a la formación de nanoagregados no identificables por DRX, que taponarían los mesoporos y los pequeños intersticios del material. Comparando con el método de impregnación (27), incorporar el Ti directamente en el gel de síntesis permite obtener, entre relaciones de Si/Ti de 25 a 100, áreas superficiales y volúmenes de poro (mesoporo, macroporo, y total) significativamente mayores.

Comparando estos datos con los reportados por El Haskouri y col. (32), quienes sintetizaron sólidos Ti-UVM-7, se puede observar que para relaciones molares de Si/Ti de 50 y 25 los resultados de área superficial son muy similares, aunque los volúmenes de poro son menores en el presente trabajo. En Si/

Ti de 10, los resultados si son muy diferentes: en esta investigación se obtiene un área superficial específica de  $128 \text{ m}^2/\text{g}$ , mientras que El Haskouri y col. (32) obtienen  $1070 \text{ m}^2/\text{g}$ , diferencia que podría ser debida al uso de diferentes fuentes de titanio, no reportada por los autores.

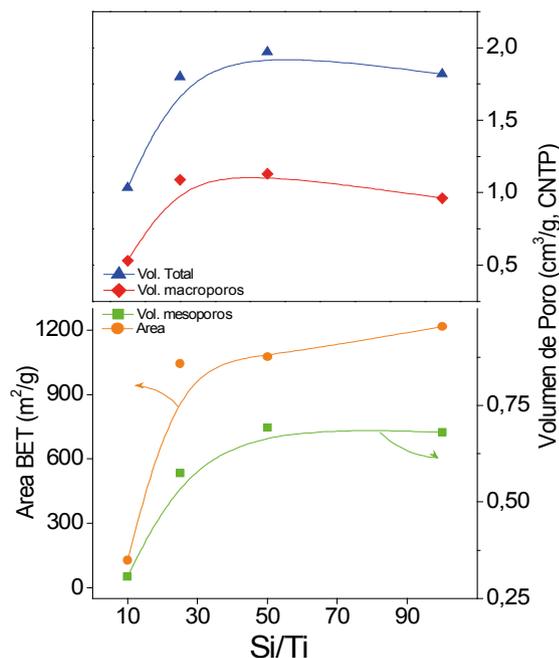


Figura 4. Volúmenes de poro y el área BET.

### Estudio por Difracción de Rayos X

Se determinó por DRX el arreglo estructural de las muestras sintetizadas incorporando titanio en el gel de síntesis y a diferentes relaciones molares de Si/Ti, obteniendo los difractogramas que se muestran en la figura 5, donde se observa que todos los sólidos presentan un pico a  $2,02$  grados de  $2\theta$  ( $4,37 \text{ nm}$ ), que corresponde al plano  $d_{100}$ , y un hombro alrededor de  $3,8$  grados de  $2\theta$  ( $2,32 \text{ nm}$ ), que corresponde a los picos solapados de los plano  $d_{110}$  y  $d_{200}$ , picos que son característicos de los materiales UVM-7. Es de notar que la intensidad de los picos de los planos  $d_{100}$ ,  $d_{110}$  y  $d_{200}$  no varían considerablemente para los materiales con las relaciones más altas (menores cantidades de Ti) manteniendo un arreglo estructural típico del material UVM-7. Sin embargo, para el material con relación Si/Ti = 10, se observa una disminución de todos los planos de difracción (desplazamiento de los picos a ángulos mayores), lo que evidencia una ligera contracción del tamaño del arreglo típico de los materiales UVM-7. La ausencia de picos característicos de las diferentes fases del óxido de titanio, es una clara evidencia que no hubo segregación de fases, al menos del tamaño suficiente como para ser detectados, incluso, en el sólido con mayor cantidad de Ti (Si/Ti = 10) (25). Resultados

similares fueron obtenidos cuando se incorpora titanio por impregnación. (27)

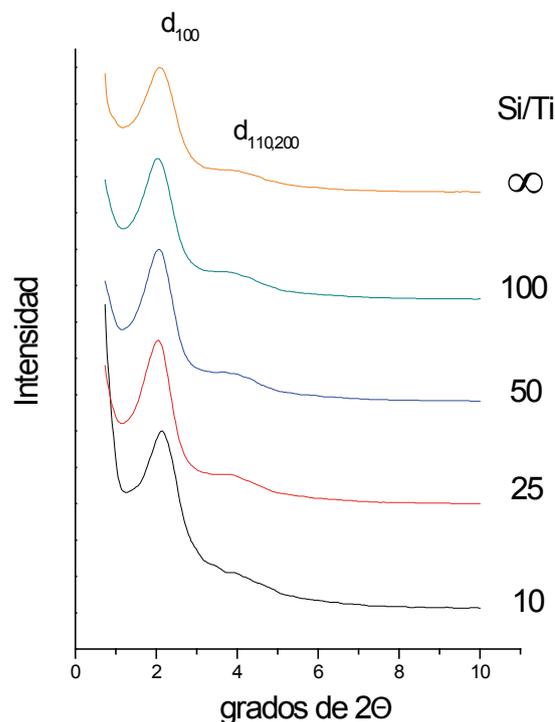
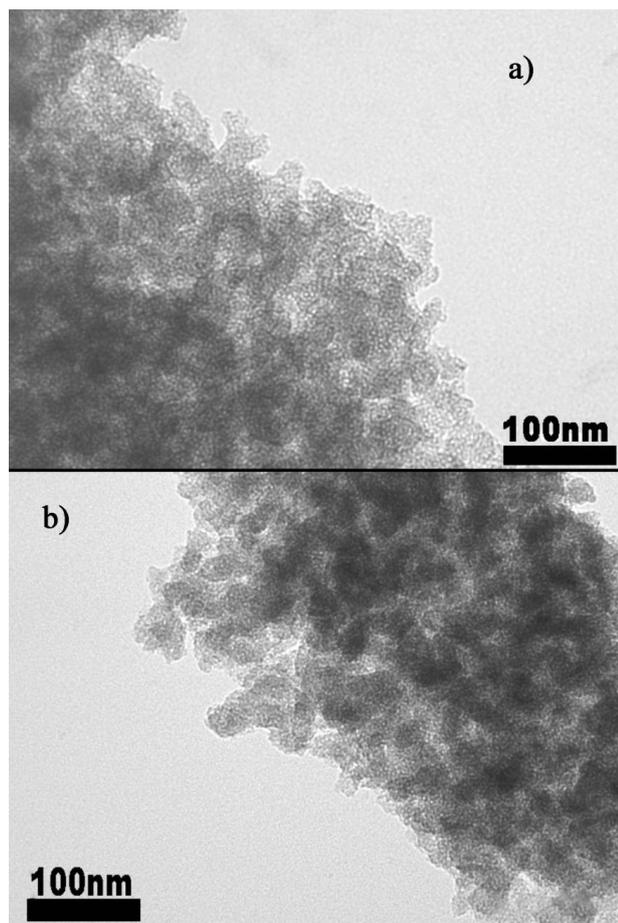


Figura 5. Difracción de rayos X. y-espaciadas.

### Propiedades morfológicas

A los materiales Ti-UVM-7 en síntesis con diferentes relaciones Si/Ti, se les realizó un seguimiento por MET para conocer el orden morfológico de los materiales, tamaño de la partícula.

En la figura 6 se presentan las microfotografías correspondientes a los sólidos con relaciones Si/Ti = 10 y Si/Ti = 100, se determinó que el tamaño aproximado de partícula era entre  $30 \text{ nm}$  y  $29 \text{ nm}$  para ambos sólidos, con lo cual se deduce que la incorporación del titanio en el gel de síntesis no produce grandes cambios en el tamaño de la partícula del sólido obtenido, conservando la características morfológicas del material UVM-7, con los mesoporos que se observan como puntos claros en las partículas (28). Por el contrario, cuando el Ti se incorpora por impregnación en el UVM-7, el tamaño de partícula del material aumenta a medida que aumenta la relación Si/Ti. (27)



**Figura 6.** Microfotografía electrónica por TEM de los sólidos con: a) relación Si/Ti=10 y b) relación Si/Ti =100

### Composición Química Elemental

Los materiales obtenidos por el método de síntesis fueron caracterizados por Energía Dispersiva de Rayos X (EDX), para determinar la composición que el material presentaba.

En la tabla 1 se presentan los resultados de composición para los materiales sintetizados expresadas como relación Si/Ti. Aquí se observa que para los sólidos con las relaciones Si/Ti más bajas, se incorporó el titanio de formas más eficiente que para las relaciones más altas. En la medida que va aumentando la relación Si/Ti, la cantidad de titanio incorporado es menor que la esperada por las cantidades iniciales en la síntesis, dando para la relación Si/Ti de 100 (determinado por las cantidades iniciales de reactivos) una relación de Si/Ti de 127. Es posible que al trabajar a concentraciones tan bajas pueda ocurrir una variación en la velocidad de hidrólisis, en la velocidad de condensación o en la solubilidad de los atranos formados por silicio, respecto a los formados con titanio.

**Tabla 1.** Valores de composición química elemental obtenidos para los materiales con diferentes relaciones molares Si/Ti

Si/Ti (nominal)	Si/Ti (experimental)
10	9,1
25	25,0
50	54,8
100	127,1

### Conclusiones

La vía de los atranos se mostró como una metodología efectiva para la incorporación de Ti (en el gel de síntesis) a la matriz del silicato de materiales mesoporosos, sin formación de agregados de óxido de titanio detectables por las técnicas utilizadas, conservando en todos los casos la bimodalidad meso-macro de sistemas de poros característicos de los sólidos UVM-7, aunque al disminuir la relación Si/Ti (se aumenta la cantidad de Ti incorporado) disminuyen los volúmenes de poro y área superficial específica, variación que resulta ser poca para una relación molar de Si/Ti de 25 a 100. Se comprueba que la estrategia de síntesis conocida como la vía de los atranos soporta variaciones significativas en la metodología, y aún así, se obtienen sólidos con características similares, en especial, conservar los dos sistemas de poros, cualidad que aporta significativas ventajas de accesibilidad, potenciando las posibles aplicaciones de estos materiales.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al CONDES-LUZ por el financiamiento aportado al proyecto CC0536-07

### Referencias bibliográficas

1. KRESGE, C. T., LEONOWICZ, M. E., ROTH, W. J., VARTULI, J. C., BECK, J. S. *Nature*, 359(6397): 710–712. 1992
2. BECK, J. S., VARTULI, J. C., ROTH, W. J., LEONOWICZ, M. E., KRESGE, C. T., SCHMITT, K. D., CHU, C. T. W., OLSON, D. H., SHEPPARD, E. W., MCCULLEN, S. B., HIGGINS, J. B., SCHLENKER, J. L. *J Am Chem Soc*, 114(27): 10834–10843. 1992
3. CORMA, A. *Chem Rev*, 97(6): 2373–2420. 1997
4. SUIB S. L. *Chem. Rec.* 17(12): 1169–1183. 2017
5. ADAM, F., APPATURI, J. N., KHANAM, Z., THANKAPPAN, R., NAWI, M. A. M. *Appl Surf Sc*, 264, 718–726. 2013

6. BUDIARTI H. A., PUSPITASARI R. N., HATTA A. M., SEKARTEDJO, RISANTI D. D. *Procedia Eng.* 170 65–71. 2017
7. KIBOMBO, H. S., PENG, R., RASALINGAM, S., KODALI, R. T. *Catal Sci Technol*, 2, 1737–1766. 2012
8. LI, X., XU, X., HE, Y., JIANG, Y., TENG, Y., WANG, Q., LIN, K. *Materials Lett*, 146, 84–86. 2015
9. ADEPU A. K., NARAYANAN V. *AIP Conf. Proc.* 1724 . 2016
10. MASSA, M. A., COVARRUBIAS, C., BITTNER, M., FUENTEVILLA, I. A., CAPETILLO, P., VON MARTTENS, A., CARVAJAL, J. *C.Mat Sci Eng C*, 45, 146–153. 2014
11. BRAUN, K., POCHERT, A., LINDÉN, M., DAVOUDI, M., SCHMIDTCHEN, A., NORDSTRÖM, R., MALMSTEN, M. *J Coll Inter Sci*, 475, 161–170. 2016
12. ZHANG, Y., CHEN, C., QIN, H., WU, R., ZOU, H. *Chem Commun*, 46, 2271–2273. 2010
13. HUANG Q., LIU X., ELKHOOLY T. A., ZHANG R., YANG X., SHEN Z., FENG Q. *Mater. Sci. Eng. C* 60 308–316. 2016
14. ALBA, M. D., LUAN, Z., KLINOWSKI, J. *J Phys Chem*, 100(6): 2178–2182. 1996
15. LUAN, Z., MAES, E. M., VAN DER HEIDE, P. A. W., ZHAO, D., CZERNUSZEWICZ, R. S., KEVAN, L. *Chem Mater*, 11(12): 3680–3686. 1999
16. BÉRUBÉ, F., KLEITZ, F., KALIAGUINE, S. *J Phys Chem C*, 112(37): 14403–14411. 2008
17. CHEN, Y., HUANG, Y., XIU, J., HAN, X., BAO, X. *Appl Catal A Gen*, 273(1–2): 185–191. 2004
18. LUAN, Z., KEVAN, L. *Microporous Mesoporous Mat*, 44–45, 337–344. 2001
19. WU, Z. Y., TAO, Y. F., LIN, Z., LIU, L., FAN, X. X., WANG, Y. *J Phys Chem C*, 113(47): 20335–20348. 2009
20. YU, C., CHU, H., WAN, Y., ZHAO, D. *J Mater Chem*, 20(22): 4705–4714. 2010
21. ZHU, H., PAN, Z., CHEN, B., LEE, B., MAHURIN, S. M., OVERBURY, S. H., DAI, S. *J Phys Chem B*, 108(52): 20038–20044. 2004
22. CABRERA, S., EL HASKOURI, J., GUILLEM, C., LATORRE, J., BELTRÁN-PORTER, A., BELTRÁN-PORTER, D., MARCOS, M. D., AMORÓS, P. *Solid State Sci*, 2(4): 405–420. 2000
23. EL HASKOURI, J., CABRERA, S., CALDÉS, M., ALAMO, J., BELTRÁN-PORTER, A., MARCOS, M. D., AMORÓS, P., BELTRÁN-PORTER, D. *Int J Inorg Mater*, 3(8): 1157–1163. 2001
24. SOLER-ILLIA G. J. DE A. A., SANCHEZ C., LEBEAU B., PATARIN J. *Chem Rev* 102(11): 4093–4138. 2002.
25. LI Y., ZHANG L., ZHANG Q., FANG F., SUN D., LI K., WANG H., OUYANG L., ZHU M. *J Phys Chem C* 118(41): 23635–23644. 2014.
26. EL HASKOURI, J., DE ZÁRATE, D. O., GUILLEM, C., LATORRE, J., CALDÉS, M., BELTRÁN, A., BELTRÁN, D., DESCALZO, A. B., RODRÍGUEZ-LÓPEZ, G., MARTÍNEZ-MÁÑEZ, R., MARCOS, M. D., AMORÓS, P. *Chem Commun*, 4, 330–331. 2002
27. CAMPOS R., HUERTA L., CHIRINOS J., AMORÓS P. *Ciencia* 18(1): 52–57. 2010.
28. HUERTA, L., GUILLEM, C., LATORRE, J., BELTRÁN, A., MARTÍNEZ-MÁÑEZ, R., MARCOS, M. D., BELTRÁN, D., & AMORÓS, P. *Solid State Sci*, 8(8): 940–951. 2006
29. BARRETT, E. P., JOYNER, L. G., HALENDA, P. P. *J Am Chem Soc*, 73(1): 373–380. 1951
30. BRUNAUER, S., EMMETT, P. H., TELLER, E. *J Am Chem Soc*, 60(2): 309–319. 1938
31. SING, K. S. W. *Pure Appl Chem*, 57(4): 603–619. 1985
32. EL HASKOURI J., ORTIZ DE ZÁRATE D., PÉREZ-PLA F., CERVILLA A., GUILLEM C., LATORRE J., MARCOS M. D., BELTRÁN A., BELTRÁN D., AMORÓS P. *New J. Chem.* 26(9): 1093–1095. 2002.



UNIVERSIDAD  
DEL ZULIA

---

# CIENCIA

Vol.25 N°3, 4

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en diciembre de 2017, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

[www.luz.edu.ve](http://www.luz.edu.ve)  
[www.serbi.luz.edu.ve](http://www.serbi.luz.edu.ve)  
[produccioncientifica.luz.edu.ve](http://produccioncientifica.luz.edu.ve)