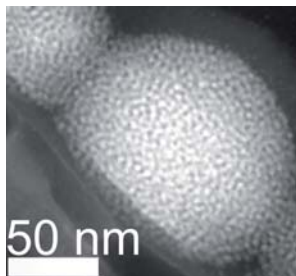


# Aglomerados de nanopartículas basados en magnetita y CTAB

Alejandro Estrada de la Vega, José Gabriel Durán-Guerrero, Marco Antonio Garza-Navarro, Iván Eleazar Moreno-Cortez, Domingo I. García-Gutiérrez, René Fabián Cienfuegos-Pelaes  
FIME-UANL  
CIIDIT, UANL  
marco.garzanr@uanl.edu.mx



## RESUMEN

*En este trabajo se reporta la síntesis y caracterización de aglomerados basados en nanopartículas de magnetita y bromuro de cetiltrimetil-amonio (CTAB) preparados a partir de emulsiones aceite en agua de nanopartículas de magnetita dispersas en medio orgánico, y el CTAB como surfactante. Las nanopartículas utilizadas en la preparación de los aglomerados se sintetizaron a partir del método del polirol. Las nanopartículas de magnetita y los aglomerados sintetizados se caracterizaron mediante microscopía electrónica de transmisión, y espectroscopia de infrarrojo (FTIR). Los resultados experimentales sugieren que la morfología de los aglomerados es dependiente de la concentración de CTAB, se obtuvieron aglomerados esféricos en los que existe un arreglo compacto de nanopartículas de magnetita. La estabilidad de dichos aglomerados se logra a partir de la adsorción de la sección lipofílica del surfactante CTAB a su superficie.*

## PALABRAS CLAVE

Nanopartículas, magnetita, CTAB, emulsión, aglomerados.

## ABSTRACT

*Synthesis and characterization of clusters based on magnetite nanoparticles and cetyltrimethyl-ammonium bromide (CTAB) that were prepared from oil-in-water emulsions, and magnetite nanoparticles dispersed into an organic media, using CTAB as surfactant agent. Magnetite nanoparticles, employed on the clusters preparation, were synthesized following a polyol method. Magnetite nanoparticles and their clusters were characterized by transmission electron microscopy and infrared spectroscopy (FTIR). Experimental results suggest that the clusters morphology depends on the concentration of CTAB; spherical clusters with dense nanoparticles arrangement were obtained. Stability of the clusters is due led to the adsorption of the lipophilic moiety of CTAB molecules over clusters surface.*

## KEYWORDS

Nanoparticles, magnetite, CTAB, emulsion, clusters.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nanoestructuras y materiales nanoestructurados ha tenido un gran auge en los últimos 20 años, debido principalmente a su amplia gama de aplicaciones. Un buen número de las contribuciones reportadas en la literatura se enfoca a la obtención de nanoestructuras magnéticas, mismas que hallan sus potenciales aplicaciones en áreas como: la biomedicina, en la cual este tipo de estructuras se aplican como marcadores, separadores de células, ingeniería de tejidos; y en la medicina terapéutica y de diagnóstico, en la que éstas se usan como inductores de hipertermia, vehículos dosificadores y de entrega localizada de fármacos, y de agentes de contraste en imágenes de resonancia magnética o terapia genética y de RNA interferente.<sup>1-8</sup>

Específicamente, la síntesis de nanoestructuras de óxidos magnéticos, tales como las ferritas espinela, se ha llevado a cabo a partir de diversas rutas. De ellas, es posible mencionar las que involucran la descomposición de dioles en medios orgánicos; esta ruta es conocida como el método del polioliol. En ella, sales orgánicas de metales de transición son disueltas en disolventes orgánicos en presencia de dioles y ácidos grasos. Bajo condiciones de atmósfera controlada y alta temperatura, comúnmente cercana a la temperatura de ebullición del disolvente empleado, se logra la hidrólisis de las sales orgánicas y la subsecuente formación de nanopartículas de ferritas espinela.<sup>9,10</sup> Un aspecto que distingue a las nanoestructuras obtenidas mediante esta ruta es la buena dispersión de tamaño de partícula, ya que controlando variables como la rapidez de calentamiento de la reacción y concentración de moléculas de ácidos grasos, es posible obtener nanopartículas con tamaño y morfología bien definidos.

No obstante, el control del tamaño de partícula, la distribución del mismo y su morfología resultan parámetros limitados en la búsqueda de propiedades magnéticas específicas, ya que éstas también dependen del grado de interacción entre las partículas dispersas en un medio cualesquiera; la dispersión de las partículas en un material nanoestructurado es comúnmente heterogénea, lo cual deriva en que sus propiedades magnéticas sean más bien regidas por la interacción entre partículas. En consecuencia, es relevante que para el control de las propiedades

magnéticas de este tipo de materiales, las interacciones partícula-partícula sean consideradas.

Al respecto, la preparación de nanoestructuras híbridas promete la obtención de nuevos y novedosos materiales con propiedades magnéticas “ajustables”, en virtud de que éstas pueden controlarse a partir del grado de confinamiento y distribución de partículas en entidades discretas como lo son los aglomerados.<sup>6-8</sup> Por ejemplo, se ha reportado que mediante la combinación de las rutas químicas como la co-precipitación o polioliol, y microemulsión, es posible la preparación de nanoestructuras híbridas basadas en nanoesferas de poliestireno o sílica, en donde nanopartículas/nanoaglomerados de magnetita son encapsulados(as).<sup>8,11</sup> Más aún, muchos autores recomiendan el uso de polímeros inteligentes y solubles en agua para la estabilización de dichas nanoestructuras.<sup>8,12,13</sup> De entre los polímeros sugeridos para este fin sobresalen los polisacáridos y polipéptidos.

En la presente contribución se reporta la síntesis de nanoaglomerados de partículas de magnetita, a partir de la combinación de rutas químicas como el método del polioliol y microemulsión, como conocimiento básico para la obtención de nanoestructuras híbridas como las descritas anteriormente. Más aún, se establecen las condiciones a partir de las cuales es posible controlar el tamaño y morfología de aglomerados desde emulsiones aceite-en-agua de nanopartículas de magnetita. Es importante señalar que, a diferencia de las aproximaciones descritas en la literatura, siguiendo la aquí propuesta es posible obtener distribuciones de tamaño de aglomerados sumamente estrechas, aun a concentraciones de surfactante inferiores a las reportadas por otros autores.

## EXPERIMENTACIÓN

### Reactivos

Se utilizaron como reactivos el acetil-acetonato de hierro (III) [Fe(acac)<sub>3</sub>, 99.9%], 1,2-hexadecanodiol (HDD, 90.0%), ácido oleico (OA, 90.0%), oleilamina (OL, 70.0%), di-fenil éter (DFE, 99.0%), hexano absoluto (HEX-Abs, 99.0 %), etanol absoluto (ETL-Abs, 99.0%), bromuro de cetiltrimetil-amonio (CTAB, 98%) y agua destilada (Millipore,  $\rho=13$  M $\Omega$ -cm). Todos los reactivos fueron provistos por la compañía Sigma-Aldrich y se utilizaron sin ningún tratamiento previo.

### Síntesis de nanopartículas

La síntesis de las nanopartículas de magnetita se logró siguiendo la ruta propuesta por Sun y colaboradores<sup>14</sup> aunque, a diferencia de lo ahí propuesto, se controló la rapidez de calentamiento de la reacción y la temperatura a la cual ésta tuvo lugar. La metodología que se siguió se describe a continuación. Primeramente, 2 mmol de Fe(acac)<sub>3</sub>, 10 mmol de HDD, 6 mmol de OA y 6 mmol de OL se mezclaron en un medio de 20 mL de DFE a temperatura ambiente y bajo un flujo continuo de nitrógeno. Una vez que los sólidos agregados a la reacción se encontraban completamente dispersos en el medio orgánico, la dispersión fue calentada a una tasa de 10 °C/min, bajo condiciones de reflujo y purga constante con nitrógeno, hasta alcanzar una temperatura de 200 °C; la reacción se mantuvo a esta temperatura durante 30 minutos. Posteriormente, la temperatura de la reacción se elevó a 250 °C a una tasa de 5 °C/min. Luego de 30 minutos, el reactor se retiró de la fuente de calor y el producto se enfrió de manera natural para su posterior recolección.

Una vez recolectado, se agregaron al producto 40 mL de ETL-Abs y se centrifugó a 9500 RPM y 4 °C durante 20 minutos; este proceso se llevó a cabo en dos ocasiones, previa remoción del solvente del sólido precipitado. El producto lavado se dispersó en HEX-Abs, en presencia de 50 µL OA y 50 µL de OL, sometiéndolo a ultrasonido durante 10 minutos. La dispersión se centrifugó a 6000 RPM y 20 °C durante 10 minutos, para luego descartar el sedimento. El producto disperso en el medio de HEX-Abs fue posteriormente precipitado mediante la adición de ETL-Abs, centrifugado a 6000 RPM y 20 °C durante 10 minutos, y secado a vacío. Finalmente, la muestra seca se dispersó en HEX-Abs, sometiéndola a ultrasonido por 1 minuto, a una concentración de 19 mg/mL. En lo sucesivo se hará referencia a esta muestra llamándola M19.

### Síntesis de aglomerados

Para la síntesis de los aglomerados, se prepararon muestras a diferentes concentraciones de surfactante, agregando 200 µL de la muestra M19 a 4 mL de disoluciones acuosas de CTAB al 15, 10, 5, 1 ó 0.8 mM; en lo sucesivo se hará referencia a estas muestras llamándolas M19C150, M19C100, M19C050,

M19C010 y M19C008, respectivamente. Las mezclas resultantes fueron, primeramente, agitadas manualmente, para luego someterlas a ultrasonido durante 2.5 minutos, utilizando una microsonda controlada por un homogenizador tipo Teckmar. Las emulsiones obtenidas se calentaron indirectamente a 80 °C (baño María) y agitaron a 500 RPM durante 10 minutos, a fin de evaporar el HEX-Abs utilizado para la preparación de la muestra M19. Finalmente, las muestras fueron almacenadas a 30 °C en tubos de ensayo para su posterior caracterización.

### Caracterización

Las características cristalinas y morfológicas, y de composición química de las muestras sintetizadas se analizaron por microscopía electrónica de transmisión (TEM, por sus siglas en inglés) en un microscopio FEI, modelo Titan G<sup>2</sup> 80-300, empleando técnicas como imagen en campo claro (BF, por sus siglas en inglés), contraste en Z (HAADF-STEM, por sus siglas en inglés) y difracción de electrones (ED, por sus siglas en inglés). Para su caracterización, una gota de cada muestra fue depositada en rejillas de cobre para microscopía electrónica, tipo “lacey-carbon-coated”, que fueron adquiridas de la compañía Electron Microscopy Science. La interacción entre las especies que constituyen cada muestra se caracterizó por espectroscopia de infrarrojo (FTIR, por sus siglas en inglés), usando un espectrómetro Thermo Scientific, modelo Nicolet. En este caso, 900 µL de cada muestra se mezclaron con 60 mg de bromuro de potasio (KBr, grado FTIR, ≥ 99%), para posteriormente secarse a 60 °C durante una noche. Este procedimiento también se siguió para la preparación de muestras tomadas de reactivos como el CTAB, OA y OL, empleados en la síntesis de los materiales aquí reportados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización cristalina y morfológica

La figura 1 muestra imágenes de TEM obtenidas de la muestra M19. En la figura 1(a) se muestra una imagen obtenida a través de la técnica de HAADF-STEM, en donde se aprecia que las nanopartículas sintetizadas presentan una morfología cuasi-esférica. El inserto en esta figura muestra una imagen de BF de una de las nanopartículas, en donde es posible

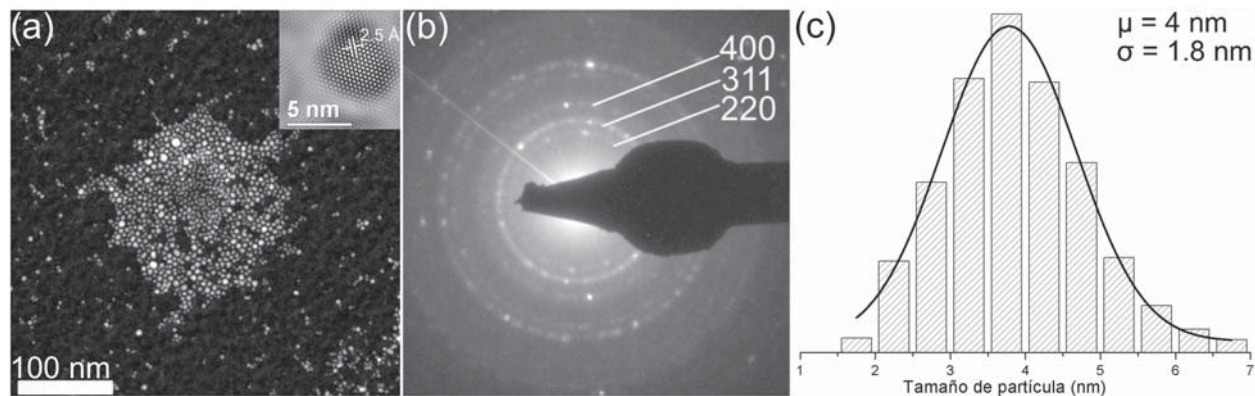


Fig. 1. Resultados del estudio por microscopía electrónica de la muestra M19. (a) imagen de HAADF-STEM de varias nanopartículas (en el inserto se muestra una imagen de BF obtenida a altas magnificaciones de una de las nanopartículas observadas en la figura); (b) patrón de ED obtenido de las nanopartículas mostradas en (a); y (c) distribución de tamaño de partícula calculada para esta muestra.

distinguir un arreglo regular de planos atómicos; el espaciamento entre estos planos puede relacionarse con la distancia interplanar reportada para la familia {311} en la estructura cristalina de la magnetita (véase JCPDS: 19-0629). La cristalinidad de las nanopartículas sintetizadas es confirmada por el patrón de ED mostrado en la figura 1(b), en donde es posible distinguir reflexiones atribuibles a las familias de planos {220}, {311} y {400} de la magnetita. Más aún, como se observa en la figura 1(c), la distribución de tamaño de partícula, obtenida a partir de la medición de una población de aproximadamente 600 partículas, es estrecha y tiene como centro un tamaño de 4 nm, así como una desviación estándar de 1.8 nm.

La figura 2 muestra imágenes de HAADF-STEM obtenidas de los especímenes M19C150, M19C100, M19C050, M19C010 y M19C008. Como lo sugieren estas imágenes, por debajo de una concentración de 5 mM de CTAB, los aglomerados muestran una morfología esférica y una dispersión que permite distinguirlos como entidades separadas, a pesar de la cercanía entre ellos [véase figuras 2(c) a (e)]. En contraste, a concentraciones superiores de 5 mM, es evidente que los aglomerados tienen una morfología irregular [véase figuras 2(a) y (b)]. Como se aprecia, la irregularidad de los aglomerados es mas evidente al usar una concentración de 15 mM [véase inserto en la figura 2(a)]; mientras que a una concentración de 10 mM, los aglomerados están mas dispersos y unidos por “tiras” de nanopartículas [véase inserto en la figura 2(b)].

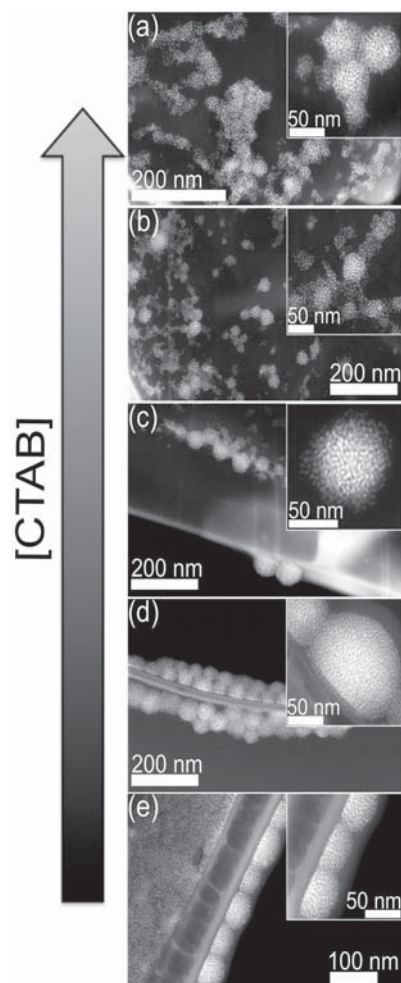


Fig. 2. Imágenes de HAADF-STEM obtenidas de las muestras: (a) M19C150, (b) M19C100, (c) M19C050, (d) M19C010 y (e) M19C008. Los insertos en las figuras ilustran imágenes obtenidas a altas magnificaciones (450, 640 ó 910 kX) de cada muestra.



El cambio en la morfología de los aglomerados sintetizados se puede explicar de la siguiente manera.<sup>15,16</sup> Cuando se añade a una disolución acuosa de surfactante anfifílico como el CTAB, un hidrocarburo, como el HEX-Abs, éste podrá “solubilizarse” en el interior lipofílico de entidades denominadas micelas. Durante este proceso, y dependiendo de la concentración del surfactante, las micelas se incharán hasta el grado de convertirse en microgotas, dando como resultado una microemulsión. Si la concentración de surfactante se incrementa por encima de su concentración crítica micelar (ccm), la solubilidad del medio orgánico se incrementará, aunque las dimensiones de estas microgotas aumentarán más allá de la capa de surfactante, provocando la deformación de las micelas. Por lo tanto, considerando que los aglomerados sintetizados son el resultado de la formación de una microemulsión, la deformación de las micelas conllevarán a la deformación de los aglomerados, cuando se usan concentraciones superiores a la ccm. La ccm del CTAB usado en este trabajo de investigación fue estimada a 30 °C y tiene un valor de 1 mM.

Más aún, como se observa en la figura 3, el tamaño promedio de los aglomerados es prácticamente invariante entre las muestras M19C050, M19C010 y M19C008, aunque la dispersión en su distribución se tiende a estrechar a una concentración de 1 mM de CTAB. Además, la densidad de nanopartículas en los aglomerados tiende a ser mayor para estas muestras, es decir, en aquellas preparadas a concentraciones justo en o alrededor de la ccm estimada para el CTAB. Lo anterior se encuentra asociado al balance hidrofílico-lipofílico el cual, bajo estas circunstancias, tenderá a minimizar las fuerzas repulsivas entre la sección hidrofílica de las moléculas de CTAB (formación disoluciones micelares), gracias a la afinidad de su sección lipofílica para con el medio orgánico (emulsificación de sustancias orgánicas en medio acuoso) en que las nanopartículas de magnetita se hallan dispersas.<sup>16,17</sup> Este balance promueve la efectiva “solubilización” del medio orgánico a manera de gotas discretamente distribuidas en el medio acuoso, y cuya evaporación aparentemente conduce a la formación de arreglos compactos de nanopartículas.

No obstante, a fin de corroborar que las interacciones antes mencionadas son las que

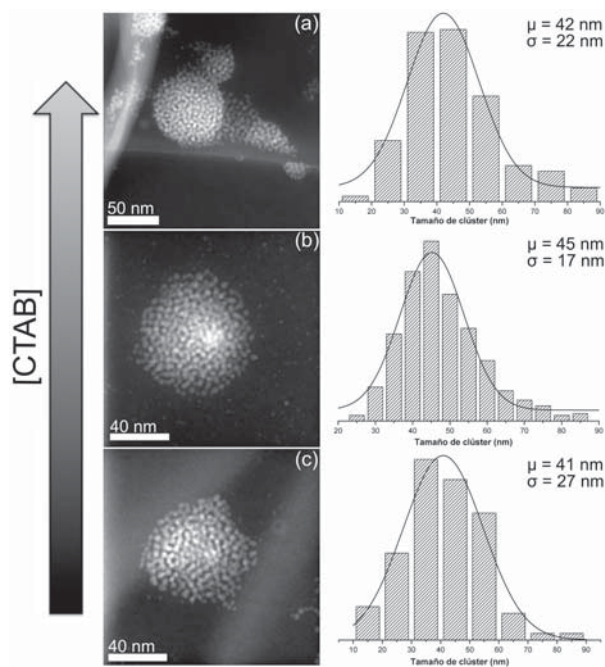


Fig. 3. Imágenes de HAADF-STEM en donde se observa la morfología y densidad de los aglomerados sintetizados en las muestras: (a) M19C050, (b) M19C010 y (c) M19C008, así como su correspondiente distribución de tamaño (a la izquierda de cada imagen).

conducen a la formación de los aglomerados, se procedió a caracterizar las muestras sintetizadas por la técnica espectroscópica de FTIR.

### Caracterización espectroscópica

La figura 4 muestra los espectros de FTIR obtenidos de los reactivos OL, OA y del espécimen M19. Como se observa, el espectro de OL muestra las bandas correspondientes a modo flexión del grupo amino ( $\text{NH}_2$ ) en 1566 y 795  $\text{cm}^{-1}$ ; la flexión en el grupos metilo ( $\text{CH}_3$ ) en 1466  $\text{cm}^{-1}$ ; estiramiento del enlace C-N en 1070  $\text{cm}^{-1}$ ; y estiramiento del enlace C-C en cadena en 721  $\text{cm}^{-1}$ .<sup>18-20</sup> Asimismo, en el espectro de OA se observan las bandas relacionadas a los modos de estiramiento de carbonilos (C=O) en 1713  $\text{cm}^{-1}$ ; estiramiento en el plano de hidroxilos (O-H) en 1466  $\text{cm}^{-1}$ ; vibración tipo sombrilla de  $\text{CH}_3$  en 1414  $\text{cm}^{-1}$ ; estiramiento de enlace C-O en carboxilos (-COO-) en 1284  $\text{cm}^{-1}$ ; estiramiento fuera del plano de O-H en 937  $\text{cm}^{-1}$ ; y balanceo de metilenos ( $\text{CH}_2$ ) en cadena en 715  $\text{cm}^{-1}$ .<sup>19-21</sup>

Por su parte, en el espectro obtenido de la muestra M19 (véase figura 4) se observan las bandas asociadas

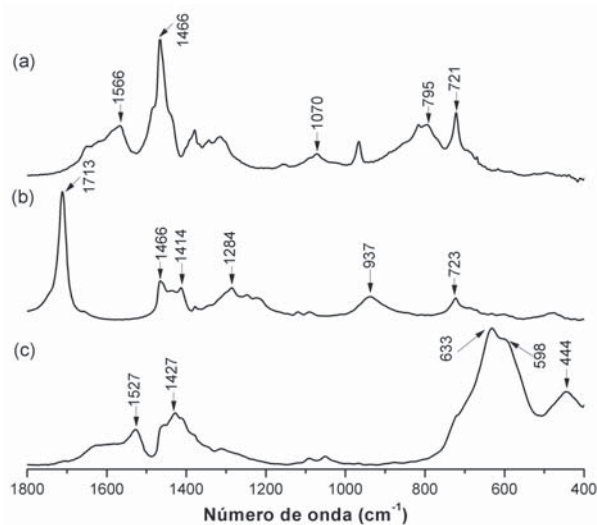


Fig. 4. Espectros de FTIR obtenidos de los reactivos (a) oleilamina, (b) ácido oleico y (c) de la muestra M19.

a la vibración de enlaces Fe-O, a 633, 598 y 444  $\text{cm}^{-1}$ , en sitios tetraédricos y octaédricos de la estructura cristalina de la magnetita.<sup>18</sup> Más aún, se aprecia una banda a 1527  $\text{cm}^{-1}$ , la cual puede atribuirse a la vibración de grupos COO- en moléculas de oleato adsorbidas a la superficie de las nanopartículas de magnetita; la desprotonación de las cadenas de OA y subsecuente adsorción de éstas en la superficie de nanopartículas de magnetita, es confirmada por la presencia de una banda a 1429  $\text{cm}^{-1}$ , que se encuentra relacionada a la vibración del grupo  $-\text{NH}_4^+$  en las moléculas protonadas de OL.<sup>20</sup> Además, la ausencia de la banda asociada al estiramiento de C=O en las moléculas libres de OA, a 1713  $\text{cm}^{-1}$ , sugiere una eficiente adsorción de moléculas oleato a superficie de las nanopartículas sintetizadas.<sup>21</sup> La adsorción de estas moléculas a la superficie de las nanopartículas de magnetita proveen su estabilidad en el medio orgánico y resulta, como lo indican los resultados experimentales obtenidos por TEM, en una estrecha distribución en su tamaño de partícula.

Por otro lado, la figura 5 muestra los espectros de FTIR obtenidos del CTAB empleado en esta investigación, así como de los especímenes M19C100, M19C050, M19C010 y M19C008. En el espectro experimental del CTAB se indican las bandas relacionadas a modos de vibración como<sup>22-24</sup>: estiramiento asimétrico y simétrico de  $\text{CH}_3$  en sección hidrofílica de la molécula ( $-\text{N}^+-\text{CH}_3$ ), a 1487 y 1431  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente; vibración tipo tijera de

$\text{CH}_2$  en la sección lipofílica de la molécula, a 1473, 1463, 1396 y 1385  $\text{cm}^{-1}$ ; estiramiento del enlace C-N<sup>+</sup> en sección hidrofílica de la molécula, a 982, 960, 937 y 912  $\text{cm}^{-1}$ ; y balanceo de metilenos en cadena  $[(-\text{CH}_2-)_n]$ , a 731 y 719  $\text{cm}^{-1}$ .

Además, como se muestra en la figura 5, los espectros obtenidos de las muestras sintetizadas exhiben bandas que se pueden relacionar a los modos de vibración observados en la molécula de CTAB. Sin embargo, es evidente que a medida que disminuye la concentración de CTAB en la muestra, las bandas relacionadas a vibraciones de  $\text{CH}_2$ , modos tijera y balanceo en cadena, tienden a desaparecer. Este fenómeno indica un incremento en la magnitud de la barrera energética asociada a la vibración de  $\text{CH}_2$ . Más aún, el hecho de que la vibración de los enlaces en la sección hidrofílica de la molécula de CTAB ocurran en el mismo intervalo de energía que para el CTAB puro, sugiere la formación de un arreglo compacto de cadenas de surfactante. Este arreglo de cadenas ocurre en torno a la superficie de los aglomerados sintetizados, a través de la adsorción de la sección lipofílica a la superficie de los aglomerados. La existencia de esta adsorción es apoyada por el corrimiento hipsocrómico de la banda relacionada a la vibración de Fe-O. Como se observa, existe un corrimiento de la banda a 444  $\text{cm}^{-1}$ , en el espectro de la muestra M19, a un valor de aproximadamente 452  $\text{cm}^{-1}$ , en el espectro de las muestras M19C050, M19C010 y M19C008.

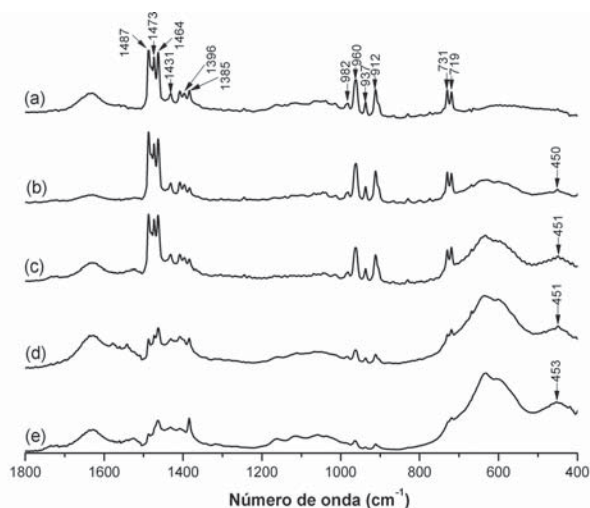


Fig. 5. Espectros de FTIR obtenidos del (a) CTAB puro, y de las muestras (b) M19C100, (c) M19C050, (d) M19C010 y (e) M19C008.

Es importante señalar que estos resultados son congruentes con lo observado a partir de estudio de la morfología de los aglomerados sintetizados, ya que a concentraciones de CTAB en las que no se apreció la formación de aglomerados de morfología regular, tal como la M19C100, no ocurre la desaparición de bandas relativas a la vibración de la sección lipofílica de las cadenas de CTAB, o un corrimiento significativo de la banda asociada a la vibración de Fe-O.

## CONCLUSIONES

En este artículo se reportó la síntesis y caracterización de aglomerados basados en nanopartículas de magnetita y el surfactante CTAB. Los resultados experimentales obtenidos por microscopía electrónica de transmisión sugieren que la morfología de los aglomerados es dependiente de la concentración de CTAB empleada para su síntesis. Además, se encontró que a concentraciones cercanas a la concentración crítica de micela del CTAB es posible la obtención de aglomerados esféricos en los que existe un arreglo compacto de nanopartículas de magnetita. La estabilidad de dichos aglomerados se logra a partir de la adsorción de la sección lipofílica del surfactante CTAB a su superficie. Más aún, a diferencia de las aproximaciones descritas en la literatura, siguiendo la aquí propuesta es posible obtener distribuciones de tamaño de aglomerados sumamente estrechas, aun a concentraciones de surfactante inferiores a las reportadas por otros autores. En vista de ello, los resultados obtenidos en esta investigación servirán de conocimiento básico para la síntesis de nanoestructuras híbridas, basadas en estos aglomerados y polielectrolitos o polipéptidos, con la finalidad de incorporar a su arquitectura entidades como anticuerpos, enzimas o incluso moléculas de drogas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los financiamientos otorgados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (proyecto No. 153482 del fondo SEP-CONACYT), y del Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León (proyecto No. IT516-10). Además, los autores agradecen a las coordinaciones de materiales avanzados y del

laboratorio de microscopía electrónica del Centro de Innovación, Investigación y Desarrollo en Ingeniería y Tecnología, por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Cao, S.-W.; Zhu, Y.-J.; Ma, M.-Y.; Li, L.; Zhang, L. *The Journal of Physical Chemistry C* 2008, 112, 1851–1856.
2. Kim, D.-H.; Nikles, D. E.; Johnson, D. T.; Brazel, C. S. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2008, 320, 2390–2396.
3. Ruiz-Hernández, E.; Baeza, A.; Vallet-Regí, M. *ACS Nano* 2011.
4. Shi, J.; Votruba, A. R.; Farokhzad, O. C.; Langer, R. *Nano Letters* 2010, 10, 3223–3230.
5. Wang, Y.; Xu, H.; Ma, Y.; Guo, F.; Wang, F.; Shi, D. *Langmuir* 2011, 27, 7207–7212.
6. Van Berkel, K. Y.; Piekarski, A. M.; Kierstead, P. H.; Pressly, E. D.; Ray, P. C.; Hawker, C. J. *Macromolecules* 2009, 42, 1425–1427.
7. Chaleawlerlert-umpon, S.; Pimpha, N. *Materials Chemistry and Physics* 2012, 135, 1–5.
8. Qiu, P.; Jensen, C.; Charity, N.; Towner, R.; Mao, C. *Journal of the American Chemical Society* 2010, 132, 17724–17732.
9. Sun, S.; Zeng, H.; Robinson, D. B.; Raoux, S.; Rice, P. M.; Wang, S. X.; Li, G. *Journal of the American Chemical Society* 2004, 126, 273–279.
10. Baldi, G.; Bonacchi, D.; Innocenti, C.; Lorenzi, G.; Sangregorio, C. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2007, 311, 10–16.
11. Zheng, W.; Gao, F.; Gu, H. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2005, 288, 403–410.
12. Zelikin, A. N. *ACS Nano* 2010, 4, 2494–2509.
13. Tan, J.; Liu, R.; Wang, W.; Liu, W.; Tian, Y.; Wu, M.; Huang, Y. *Langmuir* 2010, 26, 2093–2098.
14. Sun, S.; Murray, C. B.; Weller, D.; Folks, L.; Moser, A. *Science* 2000, 287, 1989–1992.
15. Mathew, D. S.; Juang, R.-S. *Chemical Engineering Journal* 2007, 219, 51–65.
16. Salager, J. L. *Surfactantes en solución acuosa; Laboratorio FIRP, Universidad de los Andes, 1993; pp. 1–25.*



17. Salager, J. L.; Antón, R. *Formulación HLB, PIT, R de Winsor*; Segunda ed.; Laboratorio FIRP, Universidad de los Andes, 1998; pp. 1–15.
18. Zhang, J. L.; Srivastava, R. S.; Misra, R. D. K. *Langmuir* 2007, 23, 6342–6351.
19. Bagaria, H. G.; Ada, E. T.; Shamsuzzoha, M.; Nikles, D. E.; Johnson, D. T. *Langmuir* 2006, 22, 7732–7737.
20. Bu, W.; Chen, Z.; Chen, F.; Shi, J. *The Journal of Physical Chemistry C* 2009, 113, 12176–12185.
21. Wu, N.; Fu, L.; Su, M.; Aslam, M.; Wong, K. C.; Dravid, V. P. *Nano Letters* 2004, 4, 383–386.
22. Cheng, W.; Dong, S.; Wang, E. *Langmuir* 2003, 19, 9434–9439.
23. Mehta, S. K.; Kumar, S.; Chaudhary, S.; Bhasin, K. K.; Gradzielski, M. *Nanoscale Research Letters* 2009, 4, 17–28.
24. Sau, T. K.; Murphy, C. J. *Langmuir* 2005, 21, 2923–2929.

## II Congreso Internacional de Química e Ingeniería Verde

### “Sustentabilidad Industrial y Salud, un Enfoque Estratégico”

Monterrey, N. L., México, Septiembre 25 al 27, 2013



#### Áreas para propuestas de trabajos

- Química Analítica Ambiental*
- Fuentes Alternas de Energía*
- Oxidación y Fotocatálisis*
- Biotecnología*
- Síntesis Verde*
- Tratamiento de Aguas*
- Medio Ambiente y Salud*
- Materiales Funcionales*
- Contaminación Ambiental*
- Nanomateriales*
- Manufactura Verde*
- Simulación y Modelación de Procesos*
- Cadena de Suministro*



#### Comité Técnico

*M.A. Arlethe Aguilar Villarreal*  
*Dr. Juan Manuel Alfaro Barbosa*  
*Dra. Evangelina Ramírez Lara*  
*Dr. José Rubén Morones Ramírez*

[arlethe17@gmail.com](mailto:arlethe17@gmail.com)  
[evangelina.rmz@hotmail.com](mailto:evangelina.rmz@hotmail.com)  
[jmalfarob@yahoo.de](mailto:jmalfarob@yahoo.de)  
[morones.ruben@gmail.com](mailto:morones.ruben@gmail.com)  
[direccion.fcq@uanl.mx](mailto:direccion.fcq@uanl.mx)

**Fecha límite para la presentación de propuestas - 30 de junio de 2013**



80  
ANIVERSARIO  
1933 - 2013  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Facultad de Ciencias Químicas  
Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,  
San Nicolás de los Garza, N. L. C.P. 66451  
Tel. (01) 818329 4000, Extensión 6230

80 AÑOS  
DEJANDO HUELLA