

## Adsorción de alizarina S en redes metal orgánicas

Camargo Orduño Lesli Carina, Loera Serna Sandra\*

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

\*Autor para correspondencia: sls@azc.uam.mx

### Recibido:

10/agosto/2021

### Aceptado:

28/septiembre/2021

### Palabras clave:

Alizarina S,  
MOF,  
colorante,  
adsorción

### Keywords:

Alizarine S,  
MOF,  
dye,  
adsorption

### RESUMEN

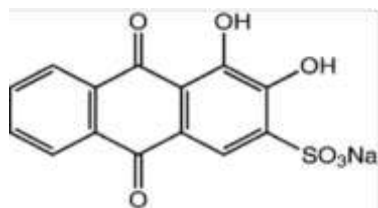
Los colorantes textiles representan un problema de salud pública debido a que su presencia no permite el paso de la luz provocando daños a los ecosistemas presentes en distintos cuerpos de agua. Para eliminar los colorantes del agua es posible usar materiales porosos, en el presente trabajo se comparó la capacidad máxima de adsorción de alizarina S en las redes metal orgánicas HKUST-1 y UiO-66 mediante tres metodologías. La HKUST-1 presentó una capacidad de remoción de 96.5% en una metodología donde el colorante se agregó a la parte metálica (M), de 94.1% cuando se agregó a la solución orgánica (O) y de 84.7% en una metodología post-síntesis, mientras que para UiO-66 los resultados fueron: 93.4%(M), 93.8% (O) y 83.8% (post), demostrando que la HKUST-1 es mejor en la adsorción de alizarina S y que la metodología post-síntesis presenta mayor efecto estérico en la adsorción lo que disminuye su capacidad de adsorción.

### ABSTRACT

Textile dyes represent a public health problem because their presence does not allow the passage of light, causing damage to the ecosystems present in different bodies of water. To eliminate the colorants from the water, it is possible to use porous materials. In the present work, the maximum adsorption capacity of alizarin S in the metal-organic frameworks HKUST-1 and UiO-66 was compared using three methodologies. HKUST-1 presented a removal capacity of 96.5% in a methodology where the colorant was added to the metallic part (M), 94.1% when it was added to the organic solution (O) and 84.7% in a methodology post-synthesis, while for UiO-66 the results were: 93.4% (M), 93.8% (O) and 83.8% (post), showing that HKUST-1 is better in the adsorption of alizarin S and that the methodology post-synthesis has a greater steric effect on adsorption, which decreases its adsorption capacity.

## Introducción

El proceso de elaboración de productos textiles consiste en varias etapas unitarias, una de ellas es la conocida como "Tintorería y acabados" en ella se generan efluentes líquidos que contienen contaminantes como las sales inorgánicas, peróxidos, almidones, enzimas, EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), colorantes, entre otros compuestos orgánicos (Delgado y Santander, 2017). Una parte importante de los contaminantes en los efluentes líquidos lo constituyen los residuos de colorantes textiles, esto se debe a que su degradación es muy lenta e incompleta. Alrededor de 200,000 toneladas de colorantes textiles se pierden en los cuerpos de agua cada año debido a la ineficiencia de los procesos de teñido y acabado (*Expok*), estos colorantes están preparados para resistir la luz, las altas temperaturas, el lavado, los detergentes y otros procesos a los que los humanos los sometemos en las fases de acabado y uso. El rojo de alizarina S (ARS) es un colorante antraquinónico ampliamente utilizado en la industria de cuero y fibras textiles (Sánchez y Sierra, 2014), se le conoce también como 1,2 dihidroxiantraquinona, se obtiene de forma natural a partir de la raíz de la planta conocida como rubia. La alizarina S tiene un peso molecular de 240.21 g/mol, posee un punto de fusión de 278°C y una solubilidad en agua de 77 g/L a 20°C (Fayazi, Ghanei-Motlagh y Taher, 2015). Este colorante es utilizado hoy en día en el sector salud para determinar la presencia de calcio en la formación de tejido óseo, su estructura química se muestra en la Figura 1.



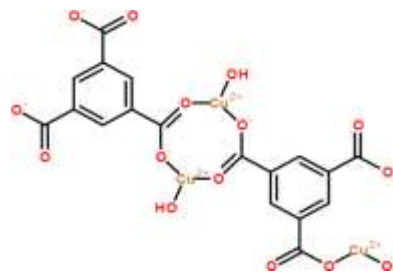
**Figura 1.** Estructura molecular del rojo de alizarina S (Discoloration of alizarine red on thin films of Fe (III)-tetracarboxyphenyl porphyrin deposited on silicon oxide, 2021).

Entre los métodos convencionales más utilizados para el tratamiento de efluentes residuales se encuentran: la remoción específica y las tecnologías emergentes. Sin embargo, estas técnicas presentan una serie de desventajas para su utilización (Castellanos y Tusarma, 2014; López-Grimau, Gutiérrez-Bouzán y Crespi, 2014) generados por costos elevados o generación de productos de desecho. El método de adsorción usando materiales porosos, por ejemplo, las redes metal orgánicas ha ganado terreno gracias a su eficiencia en la degradación de colorantes estables para los métodos convencionales. Además, mediante la adsorción se genera un efluente de alta calidad y también se trata de un proceso económicamente factible. Otra de las ventajas

presentadas en el método de adsorción es que esta puede adaptar diversos tipos de residuos agroindustriales lo cual provocan una cinética de decoloración de efluentes altamente elevada, reduciendo los costos de su operación.

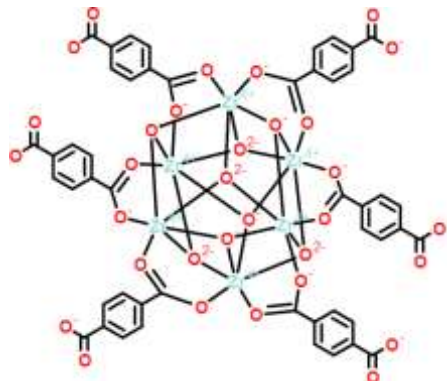
Una red metal orgánica también conocida como MOF (*Metal Organic Framework*) son compuestos químicos que consisten en iones metálicos coordinados con enlazadores orgánicos, que son altamente porosos y logran una capacidad de adsorción mayor que las zeolitas, el carbón activado y varios de los otros materiales ya utilizados (Loera-Serna, Ortiz y Beltrán, 2017). Las MOF son materiales fáciles de sintetizar con una alta área específica, alta estabilidad térmica y mecánica, propiedades estructurales y funcionales ajustables. Se han investigado exhaustivamente como adsorbentes para el tratamiento de aguas contaminadas, lamentablemente la mayoría de estos materiales son inestables en agua y están sujetos a degradación por desplazamiento de ligandos o hidrólisis (Tambat et al., 2018). Las MOF más citadas y útiles para la eliminación de colorantes en las aguas contaminadas son HKUST-1 (o Cu<sub>3</sub>(BTC)<sub>2</sub> BTC:1,3,5 benceno tricarboxilato de cobre, o MOF-199) así como el UiO-66 y NH<sub>2</sub>-UiO-66 (UiO = Universidad de Oslo) que exhiben una alta estabilidad en agua y tiene excelentes propiedades de adsorción.

La HKUST-1 (Hong Kong University of Science and Technology) es una estructura metal orgánica formada por nodos de cobre con BTC entre ellos y forman cristales cúbicos centrados en las caras que contienen un sistema tridimensional de intersección de poros grandes de forma cuadrada, que dependiendo del procedimiento sintético puede contener agua u otras moléculas (Loera-Serna et al., 2019). Su estructura molecular se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Estructura molecular del HKUST-1 (www.cd-bioparticles.net/p/9159/hkust-1 HKUST-1).

La UiO-66 (UiO = Universidad de Oslo) es una MOF a base de zirconio con una superficie muy alta (1180-1240 m<sup>2</sup>/g) está compuesto por octaedros de Zr<sub>6</sub>O<sub>4</sub>(OH)<sub>4</sub> que están conectados a octaedros adyacentes a través de un enlazador de 1,4-bencenodicarboxilato (BDC), los cuales dan como resultado una estructura de fcc muy compacta. La estructura molecular del UiO-66 se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Estructura molecular del UiO-66  
(Tambat et al., 2020).

## Metodología

### Síntesis de HKUST-1

Se realizó una disolución con 2 mmol del ligante orgánico ácido 1, 3, 5 bifenil tricarbóxilato (BTC) y 150 mL de agua desionizada, se agitó hasta su completa disolución. En una segunda disolución se agregó 3 mmol de nitrato de cobre ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ) y 40 mL de etanol, una vez disuelta la solución se adiciono gota a gota a la primera disolución que contiene el ligante dejando en agitación durante 12 h para la formación de la MOF. A continuación, la solución se colocó en tubos para centrifugar en el equipo Hettich a 55 rpm durante 30 min. Una vez separado el líquido del sólido, el líquido remanente se almacenó en recipientes de plástico para análisis posteriores, en cuanto al sólido se dejó secar en la estufa a 50°C durante 12 h. El sólido obtenido se almacenó para su posterior caracterización.

### Síntesis de UiO-66

Paso 1: En un matraz se adicionaron 0.712 mL de propóxido de zirconio ( $\text{Zr}(\text{OnPr})_4$ ), 7 mL de N,N- dimetilformamida (DMF) y 4 mL de ácido acético. La solución se calentó por 2 h a una temperatura constante de 130°C. La disolución se dejó enfriar a temperatura ambiente en un vaso de precipitados.

Paso 2: La disolución a temperatura ambiente se colocó bajo agitación para adicionar 75 mg de ácido tereftálico (BDC). Posteriormente, se sonicó por 30s y se dejó en agitación a 200 rpm por 18 h. El sólido se separó del líquido mediante centrifugación a 6000 rpm durante 15 min. El sólido se secó en la estufa a 50°C. El material obtenido se lavó 2 veces con metanol bajo condiciones de reflujo. Nuevamente se secó el sólido a 50°C por 4 h. Finalmente, el sólido se trituroó empleando un mortero de ágata para obtener un polvo fino, el cual se caracterizó por diversas técnicas.

### Adsorción de alizarina S

Parte metálica (M): Se realizaron los mismos procedimientos descritos anteriormente para la síntesis de la MOF, pero en la disolución que contiene al metal se agregaron 50 mL del colorante 100 ppm, una vez disuelta la solución se adicionaron gota a gota a la disolución que contiene el ligante dejando en agitación durante 12 h para la formación de la MOF. A continuación, el sólido se separó del líquido mediante centrifugación y se almacenaron ambos para su caracterización posterior. Parte orgánica (O): En este proceso se realizan los pasos descritos en las síntesis de las MOF, pero la disolución del colorante (50 mL 100 ppm) se agregó a la disolución que contiene el ligante orgánico para proceder después a la síntesis de la MOF, siguiendo cada paso mencionado anteriormente. Post-síntesis (Post): Una vez obtenidas las MOF se colocaron 0.5 g de MOF en 10 mL de la disolución con 50 ppm del colorante, se mantuvieron en agitación durante 4 h y después se separó el sólido mediante centrifugación, una vez secado se procedió a la caracterización.

### Caracterización de las MOF

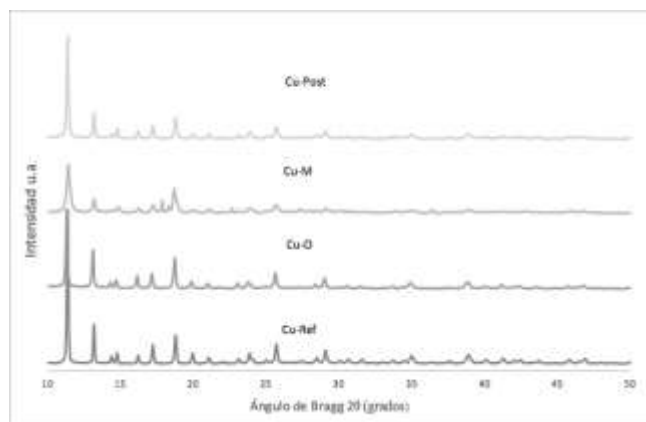
Difracción de rayos-X (DRX). La caracterización se realizó empleando un equipo Phillips X-PERT equipado con ánodo de cobre ( $\text{CuK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$ ). Las muestras se analizaron a alto ángulo, en un rango de 4-50 ( $2\theta$ ) con un tamaño de paso de  $0.02^\circ$  y tiempo de paso 0.04 s. Espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). Se utilizó un espectrofotómetro infrarrojo de la marca Perkin Elmer modelo Frontier con accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) incorporado. Los espectros obtenidos se reportaron en un intervalo de 4000 a  $400 \text{ cm}^{-1}$ . Análisis termogravimétrico (ATG). El análisis se llevó a cabo empleando un incremento de temperatura de  $10^\circ\text{C}$  por min hasta alcanzar la descomposición de la muestra a  $800^\circ\text{C}$ . Microscopía electrónica de barrido (MEB). Las imágenes se obtuvieron con el microscopio electrónico de la marca Zeiss con un voltaje de 2.0 kV.

## Resultados y discusión

### Análisis fisicoquímico de HKUST-1 y alizarina S

En la figura 4, se compara el patrón de DRX de la HKUST-1 de referencia con las muestras que contienen HKUST-1 y alizarina S. Se observa que todos los difractogramas presentan picos en las mismas posiciones de ángulos de Bragg, es decir que la estructura del material se conserva. Sin embargo, en la muestra Cu-M se presentan picos adicionales en las posiciones  $17.82$ ,  $18.25$ ,  $18.83$  y  $22.56^\circ$  ( $2\theta$ ), correspondientes a un compuesto no identificado. Es posible que el colorante interactúe más con el metal, ganando algunas posiciones que tendría el ligante

orgánico, y por esto no se favorezca del todo la formación de la MOF y en su lugar se forme un nuevo compuesto de coordinación de cobre y el colorante alizarina S.



**Figura 4.** Patrones de DRX de las muestras sintetizadas: Cu-Post (HKUST-1 MOF de referencia), y las que contienen alizarina S: O, M y Post.

En la figura 5 se comparan los espectros de la alizarina S y las 3 metodologías de adsorción empleadas. La intensidad relativa de las bandas en el espectro (a) en 1705 y 1575.58  $\text{cm}^{-1}$  disminuyen, mientras que la banda a 1240.52  $\text{cm}^{-1}$  no aparecen en el espectro (b). La banda 729.21 y 498.17  $\text{cm}^{-1}$  aumenta su intensidad relativa en el espectro (b). La banda a 3239.31  $\text{cm}^{-1}$  de la figura 5 (a) corresponde al grupo funcional -OH (tensión, fuerte, ancha) que se atribuye a las moléculas de agua, etanol y a los grupos -OH de la molécula de alizarina S. Por otra parte, la banda a 1644.28  $\text{cm}^{-1}$  de la figura (b) corresponde al grupo funcional -C=C- (alquenos, tensión, media), para la 1447.07  $\text{cm}^{-1}$  corresponde C-C (aromático, tensión, medio), 1371.68  $\text{cm}^{-1}$  C-H (alcohol, flexión, débil) y la banda 729.21  $\text{cm}^{-1}$  C-H (aromático, fuerte). Estos resultados sugieren que la alizarina se adsorbió dentro de la MOF, variando ligeramente el número de onda entre ellas.

En el espectro (c) se muestra el correspondiente al sólido obtenido cuando se mezcló el colorante con la solución del compuesto orgánico. En el espectro ya no se aprecia la banda a 3071.88  $\text{cm}^{-1}$ , y se forma una banda más pronunciada con mayor intensidad relativa a 3356.95  $\text{cm}^{-1}$ , a continuación, se exhibe una banda a 2359.82  $\text{cm}^{-1}$ , a partir de las bandas entre 1643.48  $\text{cm}^{-1}$  y hasta la banda 1444.73  $\text{cm}^{-1}$  hay un incremento en sus intensidades relativas y una disminución de las bandas entre 1330.10 y 728.15  $\text{cm}^{-1}$ .

La banda a 3354.03  $\text{cm}^{-1}$  de la figura 5 corresponde al grupo funcional -OH (tensión, fuerte, ancha) que se atribuye a las moléculas de agua, etanol y a los grupos -OH de la molécula de alizarina S. En el caso de la MOF

con alizarina S esta banda tiene una intensidad relativa grande. La intensidad de la banda a 3356.95  $\text{cm}^{-1}$  disminuye y es más comparable con la intensidad del espectro de alizarina S. Este resultado sugiere que la alizarina se adsorbió dentro de la MOF compitiendo con las moléculas de agua y de etanol o incluso reemplazando algunas de ellas.

En el caso de la MOF de referencia en este rango se tienen la intensidad relativa más grande, debido a los grupos funcionales del ligante orgánico, como el anillo aromático tridentado, o los grupos carboxilatos del mismo. La intensidad relativa de dichas bandas del espectro de la figura 5c disminuye y es más comparable con la intensidad del espectro de alizarina S. Este resultado sugiere que la alizarina está presente en la MOF.

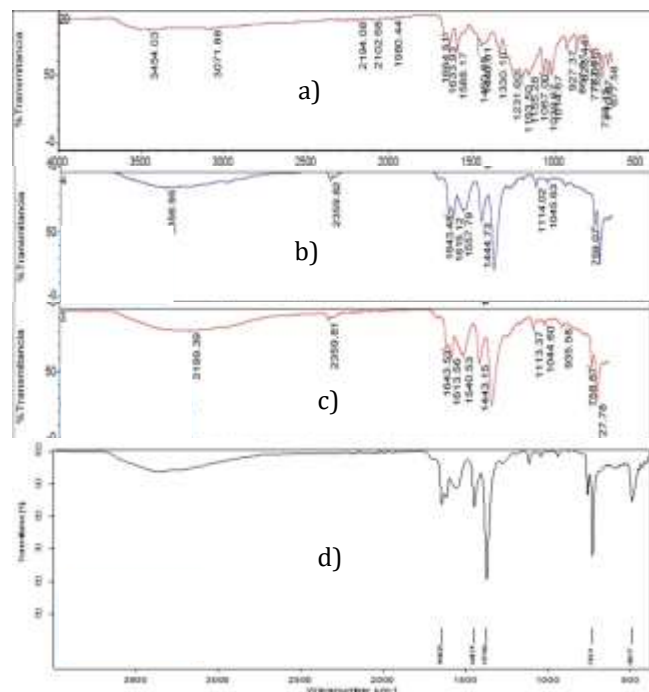
Las bandas presentes entre 1014.67 y 1231.60  $\text{cm}^{-1}$  de la figura 5c corresponde al grupo funcional C-O (1260-1000  $\text{cm}^{-1}$  alcohol, tensión media) que se atribuye a las moléculas de ligante orgánico y de alizarina S. En el caso de la MOF de referencia en este rango se tienen la intensidad relativa más grande, las bandas están menos pronunciadas.

Las bandas entre 867.51 y 710.87  $\text{cm}^{-1}$  de la figura 5c corresponde al grupo funcional =CH (900-690 aromático, flexión (fdp) débil-media) que se atribuyen a las moléculas orgánicas presentes en los sólidos de BTC y alizarina S. Las bandas entre 1588 y 1460.65  $\text{cm}^{-1}$  de la figura 5c corresponde al grupo funcional C=C (900-690 aromático, flexión (fdp) media-fuerte) que se atribuyen a las moléculas orgánicas presentes en los sólidos de BTC y alizarina S.

En el caso del espectro 5d se aprecia que la banda a 3199.39  $\text{cm}^{-1}$  presenta una mayor intensidad. La banda a 2359.81  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente a  $\text{CO}_2$ . En el espectro se aprecia un incremento en la intensidad relativa de las bandas a partir de 1643.53  $\text{cm}^{-1}$  a la banda 1443.15  $\text{cm}^{-1}$ , en este espectro no se aprecia la banda a 677.58  $\text{cm}^{-1}$  del espectro. Adicionalmente, se observa una disminución de las bandas entre 1231.60 y 760.66  $\text{cm}^{-1}$ . Se presentan las mismas bandas características de los grupos funcionales -OH, C=O, =CH, C-O y C=C, que la muestra alizarina parte orgánica, figura 5b. Particularmente, la banda a 3239.31  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde al grupo funcional -OH, presenta una disminución importante en la intensidad relativa, que sugiere el desplazamiento o remplazo de las moléculas de agua muy probablemente por moléculas del colorante. Cabe destacar que en ningún caso el espectro de los sólidos que contienen alizarina o alizarina S, corresponden a la suma de los espectros del colorante y la MOF, este resultado es indicativo de que no existe una mezcla física de los dos compuestos y que el colorante modifica algunas bandas características de ciertos

grupos funcionales, debido principalmente a las interacciones que pueden presentarse cuando este se encuentra adsorbido al interior de los poros de la MOF. En particular, todos los espectros modifican la banda a  $3300\text{ cm}^{-1}$ , debido muy probablemente al remplazo de moléculas de agua que están fisisorbidas en la MOF, por moléculas de colorante que generan interacciones de tipo Van der Waals en la red tridimensional.

Se puede percibir en las figuras 5b, 5c y 5d se encuentra un desplazamiento de la banda  $3239.31\text{ cm}^{-1}$  (MOF ref) hacia la izquierda esto se debe a la formación de los puentes de hidrógeno en la MOF que contiene a las moléculas del colorante alizarina S.

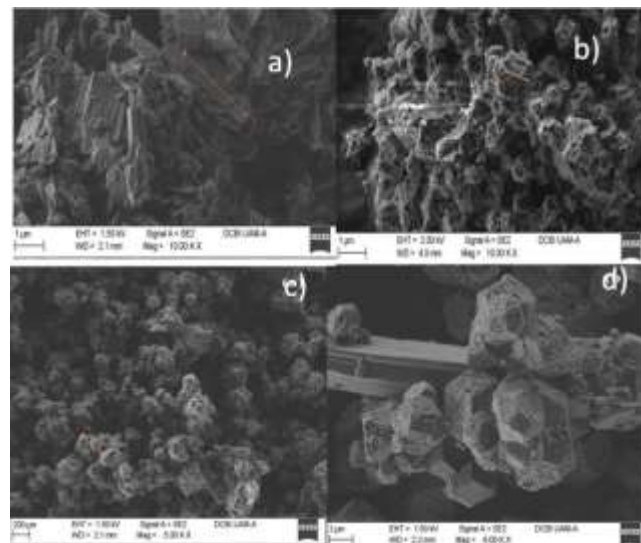


**Figura 5.** FT-IR de las muestras sintetizadas: a) Ref (HKUST-1 MOF de referencia), y las que contienen alizarina S: b) O, c) M y d) Post.

### Análisis morfológico

En la figura 6, se muestran las micrografías de la MOF usada en la adsorción antes y después del proceso de adsorción de la alizarina en la MOF. En la imagen 6a se muestra la MOF de referencia se puede apreciar claramente la formación de partículas con una morfología definida, en su mayoría se presentan como láminas de tamaño aproximado de entre  $0.5\text{ }\mu\text{m}$  a  $3\text{ }\mu\text{m}$ . En la imagen 6b si comienzan a formar prismas rectangulares de  $2.4\text{ }\mu\text{m}$  realizando un acercamiento se observa una aglomeración de partículas de diferentes tamaños en forma de láminas ordenadas hasta formar figuras en forma de cuadrados planos de tamaño aproximado de  $1\text{ }\mu\text{m}$ . En las imágenes 6c fase orgánica se

observa una aglomeración de partículas de forma no definida presentando aproximadamente un tamaño de  $1\text{ }\mu\text{m}$ . En cambio, en las imágenes 6d se observan partículas de forma poliedro no regular con una base plana cuadrada y con caras hexagonales, de  $3\text{ }\mu\text{m}$ , a su vez estas partículas están sujetas a una varilla alargada plana.



**Figura 6.** Micrografías de las MOF: a) HKUST-1, b) post-síntesis, c) en la adsorción de la alizarina S en fase metálica y d) en fase orgánica.

### Estabilidad térmica

En la figura 7 se comparan los ATG de las muestras que contienen alizarina S con la MOF de referencia. Se observa en todas ellas una primera pérdida de peso de temperatura ambiente a  $100^\circ\text{C}$ , correspondiente al solvente utilizado en la síntesis y en la adsorción del colorante, en este caso se trata de agua y etanol.

La Cu-Ref pierde 33%, mientras que Cu-Post 30%, Cu-M 20% y Cu-O 22%. La diferencia en esta primera pérdida de peso se atribuye a que el colorante reemplaza a las moléculas de agua y de etanol en el interior de los poros o en los sitios de adsorción del metal.

Una segunda pérdida de peso se observa entre  $290$  y  $360^\circ\text{C}$  que se atribuye a la pérdida de la estructura del material, esta se considera la máxima estabilidad térmica de las estructuras. Finalmente existe un porcentaje de material remanente que es de 24% para Cu-REF, 25%, 30% y 30% para Cu-Post, Cu-M y Cu-O, respectivamente.

Las muestras que contienen colorante tienen un mayor porcentaje de material remanente debido posiblemente a la mayor cantidad de carbono inorgánico que queda una vez que el colorante y el ligante orgánico se descomponen.

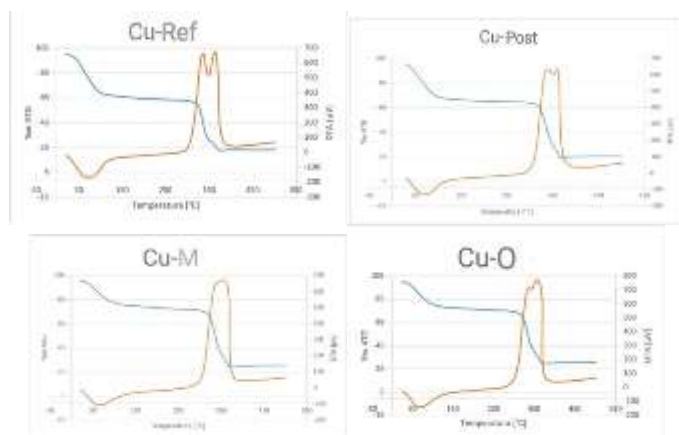


Figura 7. ATG de las muestras sintetizadas.

### UiO-66

El análisis fisicoquímico que se logró realizar dadas las condiciones de pandemia que atraviesa el país fueron sólo de la UiO-66 previo a la adsorción de alizarina S, sin embargo, la adsorción del colorante si se llevó a cabo y los resultados se compararon con la HKUST-1. En la figura 8, se presenta el patrón de DRX de la UiO-66 antes y después del lavado con etanol, se observan picos correspondientes a la estructura de la MOF y se observa que el lavado no generó cambios sustanciales en la red.

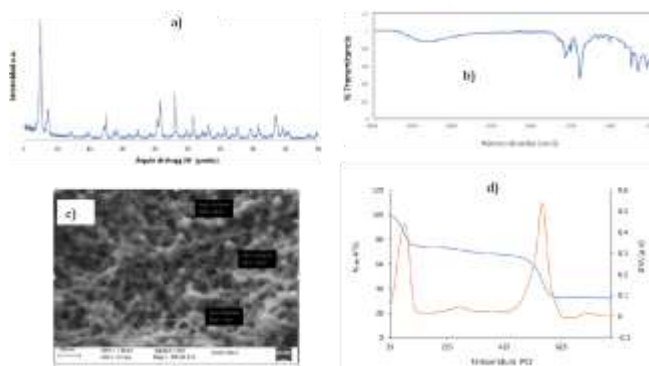


Figura 8. a) Patrón de DRX, b) espectro FT-IR, c) MEB y d) ATG de la UiO-66.

En la figura 8b presenta el espectro FT-IR de la UiO-66, de acuerdo con la banda a  $3400\text{ cm}^{-1}$  esta es debido a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H que se atribuyen a moléculas de agua presentes en la MOF. Las bandas entre  $1400$  y  $1500\text{ cm}^{-1}$  son debidas a las vibraciones de tensión de los enlaces del grupo COO correspondiente al ligante utilizado (BDC). La banda en  $1500\text{ cm}^{-1}$  se debe a las vibraciones de flexión y tensión

del grupo aromático (C=C) que está presente en el ligante. Para la región de  $800$  y  $750\text{ cm}^{-1}$  son bandas de vibración de deformación de los enlaces O-H y C-H. Por último, las bandas situadas en  $540$  y  $650\text{ cm}^{-1}$  corresponden a los modos de vibración de estiramiento de los enlaces Zr-O que están presentes en la estructura.

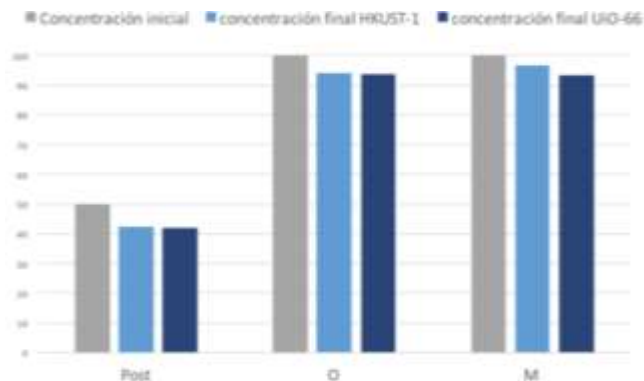
En la figura 8c, se muestran las micrografías de los sólidos obtenidos durante la adsorción de la alizarina S en la síntesis. En la imagen (a) la cual presenta un acercamiento de  $100\text{ nm}$ , podemos observar la formación de partículas con una morfología en forma de enjambre, con un tamaño aproximado de entre  $30$  y  $50\text{ nm}$ , por otro lado, en la imagen (b) que presenta un acercamiento de  $1\text{ }\mu\text{m}$  podemos observar que la aglomeración de dichas partículas presenta una forma no definida.

En la figura 8d se comparan los ATG de las muestras que contienen alizarina S con la MOF de referencia. Se observa que la primera pérdida de peso se encuentra en una temperatura de  $100^\circ\text{C}$  correspondiente al solvente utilizado en la síntesis y en la adsorción del colorante, en este caso se trata de agua y etanol, la muestra pierde un 25% de su peso. Una segunda pérdida de peso se observa entre una temperatura de  $500$  y  $600^\circ\text{C}$ . En esta ocasión no se observa ningún material remanente en la muestra.

### Adsorción de alizarina S

En la figura 9 se compara la concentración final de alizarina S presente en las muestras. Se puede observar que para las muestras Post la cual se refiere a un sistema híbrido sintetizado mediante la metodología post-síntesis y la MOF UiO-66 o la MOF HKUST-1, la adsorción de la alizarina S es muy alta, aproximadamente de un 84% de adsorción para ambas muestras. Para las muestras de alizarina S agregada a la disolución que contiene la parte metálica de la UiO-66 o de HKUST-1 durante su síntesis, podemos observar que ambas presentan una adsorción de alizarina S muy elevada, de casi el 100% de su adsorción. La barra gris representa la concentración inicial, mientras que las barras en azul corresponden a la adsorción que llevó a cabo cada una de las MOF.

Por último, para las muestras de alizarina S agregada en las disoluciones que contienen la parte orgánica de la UiO-66 o de HKUST-1 mientras es sintetizada, podemos observar que su adsorción es de más del 90% pero es diferente para cada una, la muestra que contiene al UiO-66 presenta una adsorción de 3% menor que la muestra que contiene al HKUST-1.



**Figura 9.** Adsorción de la Alizarina S en las muestras de HKUST-1 Y UiO-66.

## Conclusiones

En este trabajo se logró sintetizar dos redes metal orgánicas con propiedades porosas que se utilizaron en la captación de alizarina S, un colorante textil altamente usado en la industria. Mediante difracción de rayos X se determinaron las características estructurales de los materiales, como parámetro de red y tamaño de cristal, se encontró que la HKUST-1 tiene un tamaño de cristal de 51.09 nm, mientras que la UiO-66 uno de 30.55 nm. La espectroscopia FT-IR permitió la determinación de los grupos funcionales pertenecientes al ligante orgánico. En el análisis morfológico realizado mediante SEM se encontró que la HKUST-1 tiene una morfología definida y que ambos materiales parecen tener poros sobre la superficie. La espectroscopia UV-Vis se usó para determinar la capacidad máxima de retención de alizarina S y se encontró que la mejor metodología es cuando se agrega el colorante en la solución que contiene en centro metálico y que es ligeramente mayor la capacidad de adsorción para HKUST-1.

## Agradecimientos

Al proyecto de ciencia básica del CONACyT A1-S-31186 por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo.

## Referencias

Castellanos S., Tusarma M., (2014). Evaluación fisicoquímica por el método de adsorción-coagulación-floculación para la remoción de colorantes del efluente del área de procesos industriales de la empresa textil CO&TEX S.A.S," p. 123.

Delgado Nina D.A., Santander Pacoricona N.E. (2017). Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando Procesos de Oxidación Avanzada (POA), Fac. Ing. Química, p.141, [Online]. Available: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4227>.

[expok,dca85032994f84901e34f0c0336d795959b409a8@www.expoknews.com](mailto:expok,dca85032994f84901e34f0c0336d795959b409a8@www.expoknews.com). [https://www.expoknews.com/impactos-del-proceso-de-tenido-textil/#:~:text=El proceso de teñido textil, salud y el medio ambiente.&text=El proceso de teñido es, salud y el medio ambiente](https://www.expoknews.com/impactos-del-proceso-de-tenido-textil/#:~:text=El%20proceso%20de%20te%C3%B1ido%20textil,%20salud%20y%20el%20medio%20ambiente.&text=El%20proceso%20de%20te%C3%B1ido%20es,%20salud%20y%20el%20medio%20ambiente).

Fayazi, Ghanei-Motlagh, y Taher (2015). Discoloration of alizarine red on thin films of Fe (III)-tetracarboxyphenyl porphyrin deposited on silicon oxide-Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/ESTRUCTURA-QUIMICA-DEL-ROJO-DE-ALIZARINA\\_fig1\\_343031229](https://www.researchgate.net/figure/ESTRUCTURA-QUIMICA-DEL-ROJO-DE-ALIZARINA_fig1_343031229) [accessed 9 Aug, 2021]

<https://www.cd-bioparticles.net/p/9159/hkust-1>  
HKUST-1 Catalogar:CDM-CH238.

Loera-Serna S., Ortiz E., Beltrán H.I. (2017). First trial and physicochemical studies on the loading of basic fuchsin, crystal violet and Black Eriochrome T on HKUST-1, *New J. Chem.*, 41(8), 3097–3105. doi: 10.1039/c6nj03912j.

Loera-Serna, s., Flores M.J.L., Navarrete-López, J.N. Díaz de León, Beltranv H.I. (2019) Composites of Anthraquinone Dyes@HKUST-1 with Tunable Microstructuring: *Experimental and Theoretical Interaction Studies, Chem. - A Eur. J.*, 25(17), 4398–4411. doi: 10.1002/chem.201805548.

Mercè Vilaseca M., López-Grimau V., Gutiérrez-Bouzán C., Crespi. (2014). Métodos de eliminación del color en efluentes de tintura textil, 1390.

Sánchez Alonso V.M., Sierra Ortega P. (2014). *Enferm. Glob.*, 33, 266, Accessed: Sep.27,2020. [Online]. Available: <http://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/download/315/264?inline=1>.

Tambat S.T., Ahirrao D.J., Pandit A.B., Jha N., Sontakke, S.M. (2020) Hydrothermally synthesized N<sub>2</sub>-UiO-66 for enhanced and selective adsorption of cationic dyes, *Environ. Technol. Innov.*, 19, 101021. doi: 10.1016/j.eti.2020.101021.

Tambat, S.N., Sane, P.K., Suresh S., Varadan N.O., Pandit, A.B., Sontakke S.M. (2018). Hydrothermal synthesis of NH<sub>2</sub>-UiO-66 and its application for adsorptive removal of dye, *Adv. Powder Technol.*, 29(11), 2626–2632. doi: 10.1016/j.apt.2018.07.010.