



IX SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE  
**INGENIERÍA DE RESIDUOS**  
PANAMÁ, 20 al 23 SEPTIEMBRE del 2021

LIBRO DE ACTAS



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ**

Ing. Hector Montemayor, RECTOR

Lic. Alma Urriola de Muñoz, VICERRECTORA ACADÉMICA

Dr. Alexis Tejedor, VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN, POSTGRADO Y  
EXTENSIÓN

Mgtr. Mauro Destro, VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Dr. Martin Candanedo, DECANO FACULTAD INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. Erick Vallester, COORDINADOR GRUPO INVESTIGACIÓN GRUPONITRATO

**RED IBEROAMERICANA EN GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS**

**Comité Organizador**

Mgtr. Erick Vallester, Coordinador General del Simposio

Dr. Euclides Deago, Coordinador de ponencias

***Diagramación***

Mgtr. Erick Vallester

Lic. Ana Vallester

Ing. Tatiana Hatke

Septiembre 2021

ISBN: 978-9962-698-80-7

El IX Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos - IX SIIR - con el lema "Por un mundo limpio, libre de residuos", se desarrolló entre los días 20 y 24 de septiembre de 2021 en la ciudad de Panamá, mediante modalidad virtual.

### **Organizadores del IX SIIR**

El evento estuvo organizado por la Universidad Tecnológica de Panamá -Panamá - en conjunto con la RED IBEROAMERICANA EN GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS, y contando con la logística de la empresa **Consultoría, Estudios y Diseños, S.A.**

### **Antecedentes**

La Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental – REDISA se crea en el 2003 con apoyo económico de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) y a partir del 2008 se cuenta con la financiación del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) para la conformación de la RED IBEROAMERICANA EN GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS, cuyo acrónimo sigue siendo REDISA (<http://www.redisa.net/>).

La Red tiene por objetivo el de configurar un espacio común, en el que las Universidades y Centros integrantes puedan compartir los resultados de los proyectos de investigación que los diferentes Grupos de trabajo llevan a cabo en su ámbito común.

Las Universidades y Centros que conforman REDISA son:



## COMITE CIENTIFICO

Adolfo Israel Lomeli	(Dirección General de Medio Ambiente, Mexico)
Alethia Vásquez Morillas	(Universidad Autónoma Metropolitana, México)
Amaya Lobo García de Cortázar	(Universidad de Cantabria, España)
Ana Belem Piña Guzmán	<b>(Instituto Politécnico Nacional, México)</b>
<b>Ana López Martínez</b>	(Universidad de Cantabria)
Ana Lorena Esteban	(Universidad de Cantabria, España)
Antonio Gallardo Izquierdo	(Universitat Jaume I, España)
Beatriz Adriana Venegas Sahagún	(Universidad de Guadalajara, México)
Belkis Lara	<b>(Universidad Latina de Panamá, Panamá)</b>
Carlos Alberto Gonzales	<b>(Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, México)</b>
Clarisa Alejandrino	<b>(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)</b>
<b>Cláudia Coutinho Nóbrega</b>	(Universidad de Federal da Paraíba, Brasil)
Claudia Estela Saldaña Duran	<b>(Universidad Autónoma de Nayarit, México)</b>
<b>Claudia Celeste Florentín López</b>	<b>(Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)</b>
Denis Marie Del Valle	(Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá)
Edgar Quiñones Bolaños	(Universidad de Cartagena, Colombia)
Ellen Pacheco	(Universidad de Federal do Rio de Janeiro, Brasil)
<b>Erick Napoleón Vallester</b>	(Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá)
Estefani Rondón	(Universidad de Cantabria, Chile)
Estevao Freire	(universidad de Federal do Rio de Janeiro, Brasil)
Euclides Manuel Deago	(Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá)
<b>Fabian Robles Martínez</b>	<b>(Instituto Politécnico Nacional, México)</b>
Fabiola Adam Cabrera	<b>(Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)</b>
Francisco Colomer	(Universitat Jaume I, España)
Gerardo Bernache	<b>(Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México)</b>
Gerlin Salazar Vargas	(Universidad de Costa Rica, Costa Rica)
Guillermo Monros Tomas	(Universitat Jaume I, España)
Hamilcar Almeida	(universidad de Federal da Paraíba, Brasil)
Irma Mercante	<b>(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)</b>
José Wilmer Runfolá Medrano	(Universidad de Los Andes, Venezuela)
Juan Pablo Ojeda	<b>(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)</b>
Julieta Chini	<b>(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)</b>
Lamberto Valqui Valqui	(Universidad Jaume I, Perú)
Laura Patricia Brenes-Peralta	<b>(Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)</b>
Luiza Eugênia da Mota Rocha Cirne	(universidad de Federal de Campina Grande, Brasil)
Luz Graciela Cruz	<b>(Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología – SENACYT, Panamá)</b>
María del Mar Carlos Alberola	(Universitat Jaume I, España)
<b>Marcel Segismundo Szanto Narea</b>	<b>(Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile)</b>
María del Consuelo Hernández Berriel	<b>(Instituto Tecnológico de Toluca, México)</b>
María del Consuelo Mañón Salas	<b>(Instituto Tecnológico de Toluca, México)</b>
María Dolores Bovea Edo	(Universitat Jaume I, España)
María Yolanda Leonor	<b>(Instituto Politécnico Nacional, México)</b>
Maribel Velasco	(Universidad Autónoma Metropolitana, México)
Maricelma Ribeiro Morais	(Universidad de Estadual da Paraíba, Brasil)
Marta Braulio	(Universitat Jaume I, España)
Miguel Cuartas Hernández	(Universidad de Cantabria, España)
Monica Pertel	(Universidad de Federal do Rio de Janeiro, Brasil)
Mónica Eljaiek Urzola	(Universidad de Cartagena, Colombia)
<b>Nancy Merary Jiménez</b>	<b>(Universidad Nacional Autónoma de México, México)</b>
<b>Norma Graciela Cantero Araujo</b>	<b>(Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción)</b>
Otoniel Buenrostro Delgado	<b>(Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México)</b>
Patricio Marques de Souza	(Universidad de Federal de Campina Grande, Brasil)
Regia Lucia Lopes	<b>(Instituto Federal de Río Grande del Norte, Brasil)</b>
Roberto Lima Morra	<b>(Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)</b>
Rooel Campos	<b>(Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)</b>
Rosa María Espinosa	(Universidad Autónoma Metropolitana, México)
Samantha Sotelo	(Universidad Autónoma de Baja California, México)
Sara Ojeda	(Universidad Autónoma de Baja California, México)
Silvia Soto	<b>(Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)</b>
Susana Llamas	<b>(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)</b>
Sylvie Turpin	(Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Azcapotzalco, Mexico)

## FOTOCATALIZADORES BACTERICIDAS DE PEROVSKITA HEXAGONAL $Sr_4Mn_2CuO_4$ PARA LA DEGRADACIÓN DE LIXIVIADOS RESISTENTES A TRATAMIENTOS CONVENCIONALES

**Monrós Guillermo, Cerro Sara, Badenes José Antonio, Llusar Mario**

<sup>1</sup>Química Inorgánica Medioambiental y Materiales Cerámicos, Dpto. Química Inorgánica y Orgánica, Universidad Jaume I, Castellón, monros@uji.es.

### Resumen

Los procesos de oxidación fotocatalítica se han considerado uno de los métodos prometedores aplicados para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Los colorantes azoicos contienen el grupo -N=N- y son ampliamente utilizados como colorantes en la industria textil, papelera, alimentaria, etc. (Rojo Congo, Azul de metileno, Naranja II...) son compuestos resistentes al tratamiento convencional, siendo la fotocatalisis una alternativa a su tratamiento eficiente en los lixiviados de residuos. En esta comunicación se evalúa la actividad fotocatalítica de composites de composición formal  $Sr_4Mn_2CuO_4$  y con cerio sustituyendo parcialmente a Mn ( $Sr_4MnCeCuO_4$ ) así como de los materiales calcinados a  $1000^\circ\text{C}/12\text{h}$  con estructura de perovskita hexagonal distorsionada (grupo espacial  $P321$ ). Los composites fueron obtenidos por métodos de descomposición metal-orgánica (MOD) o ruta citratos en fase acuosa así como de Sol-Gel basados en la hidrólisis-condensación de disoluciones alcohólicas de nitratos (PG). Los materiales secos a  $110^\circ\text{C}$  son de color negro intenso con un aspecto vítreo y presentan alta capacidad de fotodegradación frente a Naranja II, con valores de periodos de semivida similares a la anatasa de referencia (P25 de Degussa). En el caso de las muestras calcinadas a  $1000^\circ\text{C}/12\text{h}$  los tiempos de vida media son 10 veces superiores. Aunque la actividad fotocatalítica es biocida, es deseable combinar métodos bactericidas diferentes pero complementarios (como los iones  $\text{Cu}^{2+}$  en este caso: en 1852 Victor Burq descubrió que las personas que trabajaban con cobre tenían muchas menos muertes por cólera que cualquier otra persona, estudios posteriores confirman su actividad bactericida).

### Abstract

Photocatalytic oxidation processes have been considered to be one of the promising methods applied for leachate from landfills. Azo dyes that contain the -N = N- group are widely used as colorants in the textile, paper, food industry, etc. (Congo Red, Methylene Blue, Orange II ...) and are compounds resistant to conventional treatment, being photocatalysis an alternative to its efficient treatment in the waste leachate. In this communication, the photocatalytic activity of composites of formal composition  $Sr_4Mn_2CuO_4$  and with cerium partially substituting Mn ( $Sr_4MnCeCuO_4$ ) as well as materials calcined at  $1000^\circ\text{C}/12\text{h}$  with distorted hexagonal perovskite structure are evaluated. The composites were obtained by methods of metal-organic decomposition (MOD) or aqueous citrate route as well as Sol-Gel based on the hydrolysis-condensation of alcoholic solutions of nitrates (PG). Dry materials at  $110^\circ\text{C}$  are deep black in color with a glassy appearance and have a high photodegradation capacity over Orange II, with half-life values similar to the reference anatase (Degussa P25). In the case of samples fired at  $1000^\circ\text{C}/12\text{h}$ , the half-life times are 10 times higher. Although the photocatalytic activity is biocidal, it is desirable to combine different but complementary bactericidal methods (such as  $\text{Cu}^{2+}$  ions in this case: in 1852 Victor

Burq discovered that people who worked with copper had far fewer deaths from cholera than anyone else, later studies confirm its bactericidal activity).

### **Palabras clave/keywords:**

Lixiviados, cerámicas fotocatalíticas, azoderivados, cobre, cerium./Leachates, photocatalytic ceramics, azo dyes, copper, cerium.

## **1. Introducción**

El lixiviado de los rellenos sanitarios puede crear un problema grave para el suelo y la calidad del agua subterránea cerca de los rellenos sanitarios, especialmente en la temporada de lluvias. El costo y la eficiencia del tratamiento de lixiviados por los métodos actuales, como los métodos químicos y físicos, aún no son adecuados para su uso generalizado; por lo tanto, es necesario encontrar un método adecuado y respetuoso con el medio ambiente para resolver este problema. Los procesos de oxidación fotocatalítica se han considerado uno de los métodos prometedores aplicados para el tratamiento de estos lixiviados. Se llevaron a cabo varios estudios sobre esto que demostraron ser útiles y pueden acoplarse con la energía solar, por lo que puede convertirse en una solución muy rentable para el tratamiento de lixiviados. La anatasa es la referencia como material fotocatalizador por su alta actividad, estabilidad, bajo costo y baja toxicidad, L.T T. Nguyen utiliza anatasa  $\text{TiO}_2$  para el tratamiento de lixiviados de vertederos demostrando que en las condiciones óptimas para el proceso de tratamiento (pH 4, catalizador de  $\text{TiO}_2$  de 0,05 g / L y exposición a UV de 90 minutos) se podía eliminar hasta un 67,2% de DQO y un 56,4% de color (de composición formal  $\text{Sr}_4\text{Mn}_2\text{CuO}_4$  y con cerio sustituyendo parcialmente a Mn ( $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_4$ ) así como de los materiales calcinados a  $1000^\circ\text{C}/12\text{h}$  con estructura de perovskita hexagonal distorsionada (grupo espacial  $P321$ ) (L.T T. Nguyen, 2015). Sin embargo, la anatasa presenta problemas asociados con baja velocidad de fotocatalisis y necesidad de irradiación UV al no acoplarse su band gap con la luz solar: la utilización de composites cerámicos puede mejorar estos aspectos. Los colorantes azoicos contienen el grupo  $-\text{N}=\text{N}-$  son ampliamente utilizados como colorantes en la industria textil, papelera, alimentaria, etc. (Rojo Congo, Azul de metileno, Naranja II...) son compuestos resistentes al tratamiento convencional, siendo la fotocatalisis una alternativa a su tratamiento eficiente en los lixiviados de residuos (Gargori, 2009). En esta comunicación se estudia la capacidad fotocatalítica de composites de composición formal  $\text{Sr}_4\text{Mn}_2\text{CuO}_4$  y con cerio sustituyendo parcialmente a Mn ( $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_4$ ) así como de los materiales calcinados a  $1000^\circ\text{C}/12\text{h}$  con estructura de perovskita hexagonal distorsionada (grupo espacial  $P321$ ) (Bae B., 2017).

## **2. Metodología**

En esta comunicación se evalúa la actividad fotocatalítica de composites de composición formal  $\text{Sr}_4\text{Mn}_2\text{CuO}_4$  y con cerio sustituyendo parcialmente a Mn ( $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_4$ ) así como de los materiales calcinados a  $1000^\circ\text{C}/12\text{h}$  con estructura de perovskita hexagonal distorsionada (grupo espacial  $P321$ ).

### **2.1 Síntesis.**

Los composites fueron obtenidos por métodos de coprecipitación (CO, de descomposición metal-orgánica (MOD) o ruta citratos en fase acuosa así como de Sol-Gel basados en la hidrólisis-condensación de disoluciones alcohólicas de nitratos (PG). En el método CO para 10 g de producto final se disolvieron los nitratos de Sr ( $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ), Mn ( $\text{MnN}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), Cu ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) y en su caso de Ce ( $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

y se disolvieron en 200 ml de agua, posteriormente manteniendo agitación y una temperatura de 70°C se añadió gota a gota amoníaco 16% hasta formación de un gel. En el método MOD a la disolución de nitratos se añadieron 0,5 moles de ácido cítrico por mol de compuesto final y se neutraliza con amoníaco 16% hasta la formación de gel. En el método PG los nitratos se disuelven en 200 ml de etanol absoluto y se mantienen 24 h a temperatura ambiente y agitación continua en recipiente cerrado con película de polietileno. Los geles se secaron en estufa a 110°C. Los materiales secos a 110°C son de color negro intenso con un aspecto vítreo en el caso de las muestras CO y MOD, en cambio PG presenta una coloración blanca (Figura 1)

## 2.2. Métodos de caracterización.

Las muestras se caracterizaron en un difractómetro Siemens D5000 con radiación Cu K $\alpha$  en el intervalo 10-70°2 $\theta$ , velocidad de barrido 0.05°2 $\theta$ /s, constante de tiempo 10 s y condiciones de 40 kV y 20 mA.

El color se midió mediante los parámetros de color L\*a\*b\* siguiendo la metodología CIE (Commission International de l'Eclairage) utilizando el espectrómetro Jasco V670, con iluminante D65 y observador 10°. En este método, L\* mide la claridad (100=blanco, 0=negro), a\* y b\* miden el chroma (-a\*=verde, +a\*=rojo, -b\*=azul, +b\*=amarillo) (Cerro S, 2012).

Los espectros UV-Vis-NIR de las muestras de polvo cocido y también de las aplicaciones de los pigmentos se recolectaron usando el espectrómetro Jasco V670 mediante la técnica de reflectancia difusa. La energía de band gap de los semiconductores se calculó mediante el método de Tauc utilizando los espectros UV-Vis-NIR de Kubelka-Munk (Tauc J., 1966).

La caracterización microestructural de los polvos se realizó con un microscopio electrónico de (SEM, Scanning Electron Microscopy) Leo-440i de LEYCA.

Para el seguimiento de la cinética de fotodegradación de los substratos se realizó el montaje que aparece en la Figura 1 con una lámpara de mercurio de media presión de 125 W de potencia, con espectro de emisión que presenta tres líneas características a 254, 313 y 365 nm, empleada como fuente de radiación UV sobre la disolución contenida en un reactor de vidrio de cuarzo (que minimiza el filtrado de la radiación UV de la fuente) refrigerado por una camisa con corriente de agua. Se utilizaron disoluciones del colorante monoazo Naranja II de concentración 0.6·10<sup>-4</sup> M tamponadas a pH 7,4 con una mezcla de NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O y Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (Panreac, S.A) a la que se añade el polvo fotocatalizador en suspensiones de 500 mg/l mantenidas en agitación continua (Gargori, 2009).

La degradación de Naranja II se siguió por colorimetría a 480 nm. Las curvas de fotodegradación se analizan según el modelo de Langmuir-Hinshelwood (Cerro 2012). Con bajas concentraciones iniciales (C<sub>0</sub>) y con baja absorción por el fotocatalizador este modelo cinético sigue la ecuación 1:

$$\ln \frac{C}{C_0} = kKt = K_{app}t \quad (1)$$

Donde t= tiempo de irradiación, C= concentración actual del colorante.

Al representar ln(C/Co) frente al tiempo de irradiación, la cinética que sigue el modelo Langmuir-Hinshelwood presenta un ajuste lineal siendo la pendiente de la recta la constante aparente de velocidad de primer orden K<sub>app</sub>. El tiempo de semivida (t<sub>1/2</sub>) se puede calcular considerando las expresiones:

$$\ln \frac{C_0/2}{C_0} = K_{app} t_{1/2} \quad t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{K_{app}} \quad (2 \text{ y } 3)$$

### 2.3. Resultados y discusión.

La Figura 1 presenta los composites secos  $\text{Sr}_4\text{Mn}_2\text{CuO}_9$  y la Figura 2 los de la composición con cerio  $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_9$  incluyendo su  $L^*a^*b^*$  y difractograma de rayos X, así como calcinados a  $1000^\circ\text{C}/3\text{h}$  incluyendo los espectros Kubelka Munk de absorbancia óptica. En los composites secos se observa un carácter amorfo con cristalización de sales secundarias de nitrato de estroncio en PG y MOD, en cambio en CO cristaliza  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  en el caso de la formulación sin cerio y en los segundos con cerio cristaliza nitrato de estroncio en las tres muestras. Todas las muestras presentan una coloración negra o marrón oscuro como indican los valores  $L^*a^*b^*$  incluidos en la imagen de los polvos, salvo la muestra PG no calcinada de aspecto claro. Al calcinar a  $1000^\circ\text{C}/3\text{h}$  cristaliza la perovskita hexagonal  $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_9$  como fase única en todas las muestras sin cerio, en cambio, el cerio no entra completamente en disolución sólida en la red de perovskita hexagonal y aparecen en todas las muestras picos intensos de la perovskita  $\text{SrCeO}_3$  (picos C en la Fig.1)

En la Figura 3 se presentan las curvas de fotodegradación de Naranja II con muestras representativas, los composites secados a  $110^\circ\text{C}$  (K1 muestras sin Ce ( $\text{Sr}_4\text{Mn}_2\text{CuO}_9$ ), K2 muestras con Ce ( $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_9$ )) y sus homólogas calcinadas a  $1000^\circ\text{C}/3\text{h}$ . En la Tabla 1 se observa que los materiales sin calcinan presentan excelentes resultados de fotodegradación frente a Naranja II, con valores del periodo de semivida similares a la referencia P25 de Degussa, sin embargo los finos polvos dispersados son difíciles de recuperar y no se han podido realizar pruebas de ciclado. En el caso de las muestras calcinadas a  $1000^\circ\text{C}/12\text{h}$  los tiempos de vida media son 10 veces superiores. Aunque la actividad fotocatalítica es biocida, la ventaja de estos composites es que combina métodos bactericidas diferentes pero complementarios ya que en la composición se incluyen iones  $\text{Cu}^{2+}$  en este caso: en 1852 Victor Burq descubrió que las personas que trabajaban con cobre tenían muchas menos muertes por cólera que cualquier otra persona, estudios posteriores confirman su actividad bactericida (Yasuyuki M. 2010, Zou Y., 2020). Los materiales calcinados, en cambio, no presentan una actividad fotocatalítica significativa al presentar valores de periodo de semivida similares a la prueba CONTROL sin adición de fotocatalizador.

El estudio por espectroscopía UV-Vis-NIR utilizando el modelo de Kubelka-Munk, que se presenta para las muestras calcinadas en las Figuras 1 y 2 para las muestras sin cerio y con presencia de cerio, indica la presencia de una banda de absorción adicional con punto de inflexión en 800 nm para todas las muestras con valores de bandgap de 1,55 eV medido por el método de Tauc. Aunque en principio cubriría el intervalo apto para el desarrollo de fotoactividad, el semiconductor no se muestra activo frente a Naranja II, a pesar también de que presentan partícula finas, como se observa en la Figura 4 donde se compara con una muestra de CE obtenida por el método convencional cerámico a partir de carbonato de estroncio y óxidos de cobre (II) y Mn(III) calcinada a  $1000^\circ\text{C}/3\text{h}$ ) con partículas de 0.5-1  $\mu\text{m}$  de tamaño medio formando agregados de 1-7  $\mu\text{m}$  y la muestral CO de la composición sin cerio K1 que presenta partículas más finas de 0.5  $\mu\text{m}$  formando agregados de 2-8  $\mu\text{m}$ . La posible rápida recombinación de los pares hueco-electrón explicaría este resultado.



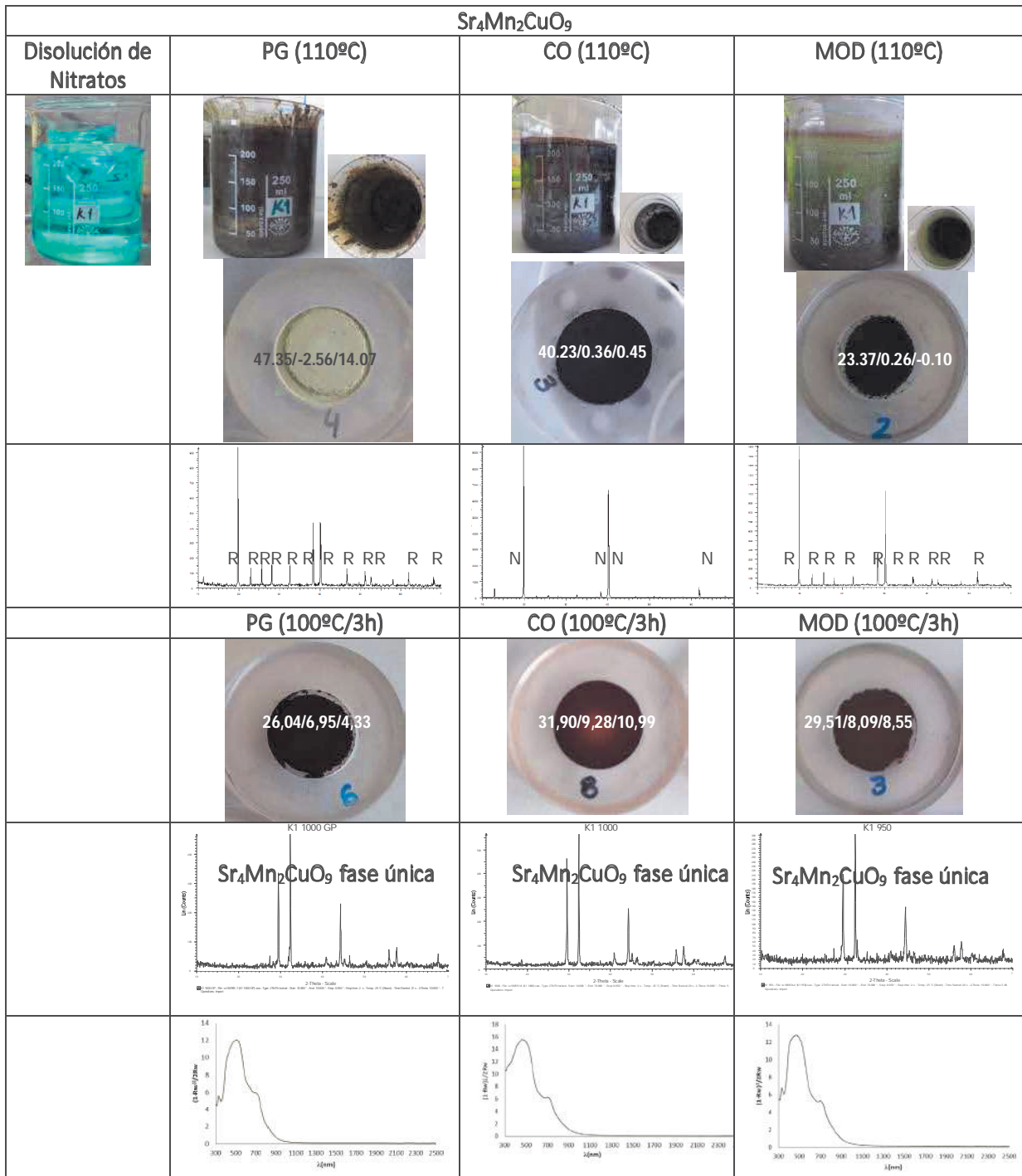


Figura 1. Composites secos  $Sr_4Mn_2CuO_9$  incluyendo su  $L^*a^*b^*$  y difractograma de rayos X, así como calcinados a  $1000^\circ\text{C}/3\text{h}$  incluyendo los espectros Kubelka Munk de absorbancia óptica. Fases cristalinas: N ( $NH_4NO_3$ ), R( $Sr(NO_3)_2$ )



Figura 2. Composites secos  $Sr_4MnCeCuO_9$ , incluyendo su  $L^*a^*b^*$  y difractograma de rayos X, así como calcinados a 1000°C/3h incluyendo los espectros Kubelka Munk de absorbancia óptica. Fases cristalinas:  $R(Sr(NO_3)_2)$ ,  $C(SrCO_3)$

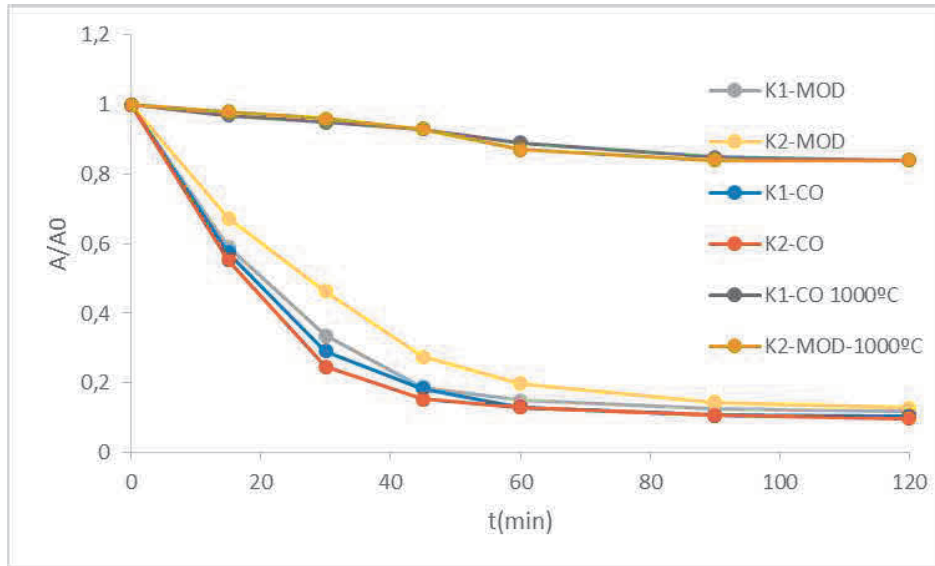


Figura 3. Curvas de fotodegradación de Naranja II con muestras representativas: K1 muestras sin Ce ( $\text{Sr}_4\text{Mn}_2\text{CuO}_9$ ), K2 muestras con Ce ( $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_9$ ) secas o calcinadas a  $1000^\circ\text{C}$ .

Tabla 1. Parámetros de la fotodegradación de Naranja II de las muestras de la Figura 3 utilizando dos referencias:  $\text{TiO}_2$  P25 de Degussa de fotoactividad comercial contrastada y CONTROL realizada sin adición de ningún fotocatalizador.

Muestra	$t_{1/2}$ (min)	$R^2$
K1 -CO	37	0,814
K1-MOD	40	0,810
K2-CO	37	0,784
K2-MOD	39	0,907
K1-CO-1000°C	495	0,986
K2-MOD-1000°C	470	0,897
P25 (Degussa)	27	0,980
CONTROL	497	0,890

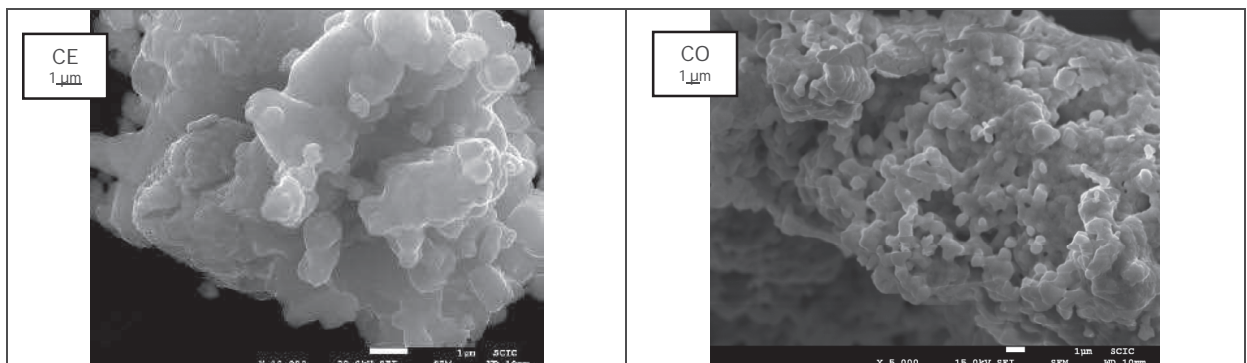


Figura 4. Microscopía SEM de muestras CE obtenidas por el método convencional cerámico (a partir de carbonato de estroncio y óxidos de Cu (II) y Mn(III)) y la muestra K1-CO-1000°C ambas calcinadas a  $1000^\circ\text{C}$

### 3. Conclusiones

El lixiviado de los rellenos sanitarios puede crear un problema grave para el suelo y la calidad del agua subterránea cerca de los rellenos sanitarios, especialmente en la temporada de lluvias. Los procesos de oxidación fotocatalítica se han considerado uno de los métodos prometedores aplicados para el tratamiento de estos lixiviados. Se prepararon composites obtenidos por métodos de coprecipitación (CO, de descomposición metal-orgánica (MOD) o ruta citratos en fase acuosa así como de Sol-Gel basados en la hidrólisis-condensación de disoluciones alcohólicas de nitratos (PG) de composición  $\text{Sr}_4\text{Mn}_2\text{CuO}_9$  y con sustitución de Mn por cerio  $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_9$  así como calcinados a  $1000^\circ\text{C}/3\text{h}$ . En los composites secos se aprecia un carácter amorfo con cristalización de nitratos de estroncio y/o de amonio presentando una coloración negra salvo la muestra PG no calcinada de aspecto claro. Al calentar a  $1000^\circ\text{C}/3\text{h}$  cristaliza la perovskita hexagonal  $\text{Sr}_4\text{MnCeCuO}_9$  como fase única en todas las muestras sin cerio, en cambio, el cerio no entra completamente en disolución sólida en la red de perovskita hexagonal y aparecen en todas las muestras picos intensos de la perovskita  $\text{SrCeO}_3$ .

Los composites secados a  $110^\circ\text{C}$  presentan excelentes resultados de fotodegradación frente a Naranja II, con valores del periodo de semivida similares a la referencia P25 de Degussa, sin embargo los finos polvos dispersados son difíciles de recuperar y no se han podido realizar pruebas de ciclado. Aunque la actividad fotocatalítica es biocida, la ventaja de estos composites es que combina métodos bactericidas diferentes pero complementarios ya que en la composición incluyen iones bactericidas  $\text{Cu}^{2+}$  con la propia actividad fotocatalítica.

Los materiales calcinados, en cambio, no presentan una actividad fotocatalítica significativa al presentar valores de periodo de semivida similares a la prueba CONTROL sin adición de fotocatalizador. Aunque su bandgap de 1,55 eV y cubriría el intervalo apto para el desarrollo de fotoactividad, el semiconductor no se muestra activo frente a Naranja II, a pesar también de que presentan partículas finas: la posible rápida recombinación de los pares hueco-electrón explicaría este resultado.

### Agradecimientos.

Los autores agradecen la financiación de la Universidad Jaume I (Proyecto UJI B2018-43).

### Referencias

Bae B, Takeuchi N, Tamura S, Imanaka N. (2017), Environmentally friendly orange pigments based on hexagonal perovskite-type compounds and their high NIR reflectivity, *Dyes and Pigments*, 147, 523-528.

Cerro S., Galindo R., García A., Monrós A., Badenes J. Gargori C., Monrós G. (2012), Photocatalysts in ceramics, *Ceramic Forum International*, 89,5, E143-E149.

Gargori C., Galindo R., Llusar M., Tena M.A., Monrós G., Badenes J. A. (2009) Photocatalytic degradation of Orange II by titania addition to sol-gel glasses, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 50,314-320.

Nguyen L.T.T. , (2015), Small scale landfill leachate treatment using photocatalytic oxidation process, *Journal of Science and Technology*, 53(3A):49-54

Tauc J., Grigorovici R., Vancu A. (1966), Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Germanium,, *Phys. Status Solidi*, 15,2:627-637.

Yasuyuki M., Kunihiro K., Kurissery S., Kanavillil N., Sato Y., Kikuchi Y. (2010), Antibacterial properties of nine pure metals: a laboratory study using *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, *Biofouling*, 26(7), 851-8. Doi: 10.1080/08927014.2010.527000.

Zou, Y., Zhang, Y., Yu, Q., Chen H. (2020), Photothermal bactericidal surfaces: killing bacteria using light instead of biocides, *Biomater. Sci.*, Advance Article DOI: 10.1039/d0bm00617c