

## Artículo Original

# Síntesis de óxido de Titanio (IV) dopado con tierras raras para la remoción de Cianuro

## Synthesis of Titanium Oxide (IV) dopped with rare earth for the removal of Cyanide

Ricardo León<sup>1,a</sup>, Wilson León<sup>1,b</sup>, Delly San Martin<sup>1,c</sup>, Sergio Valverde<sup>1,d</sup>

Recibido: 15/07/2023 Aceptado: 20/11/2023 Publicado: 30/12/2023

### Resumen

En este trabajo se presenta la síntesis de Oxido de Titanio (IV) dopado con tierras raras para remoción de cianuro en sistemas acuosos. La síntesis se realizó por el método Sol-gel a partir de un precursor orgánico de Titanio que nos permite obtener la fase anatasa; se obtuvieron 4 materiales uno puro y 3 dopados con Lantano, Cesio y Europio al 1% de concentración molar respectivamente. Los materiales obtenidos se caracterizaron por Difracción de rayos x, Fluorescencia de rayos x, Espectroscopia infrarroja y Microscopia. A cada material de evaluó el porcentaje de remoción de cianuro aplicando una dosis de 1g/L de material a una solución acuosa de 40 mg/L de CN- con ayuda de un reactor con lampara UV que favorece la fotocatalisis y flujo continuo de la solución durante 120 min, cada 20 min se determinó la concentración de CN- para ello se validó un método espectrofotométrico en UV, que consistía en reaccionar la solución problema con Picrato sódico para obtener una coloración naranja rojizo.

Finalizado los tratamientos se pudo evidenciar la remoción de CN-, siendo más significativo con el TiO<sub>2</sub>.Ln 1%.

**Palabras clave:** Oxido de Titanio (IV), Tierras Raras, Sol-gel, anatasa, cianuro.

### Abstract

This paper presents the synthesis of Titanium (IV) Oxide doped with rare earths for cyanide removal in aqueous systems. The synthesis was carried out by the Sol-gel method from an organic Titanium precursor that allows us to obtain the anatase phase; 4 materials were obtained, one pure and 3 doped with Lantano, Cesium and Europium at 1% molar concentration, respectively. The materials obtained were characterized by x-ray diffraction, x-ray fluorescence, infrared spectroscopy and microscopy. To each material, the percentage of cyanide removal was evaluated by applying a dose of 1 g / L of material to an aqueous solution of 40 mg / L of CN- with the help of a reactor with a UV lamp that favors photocatalysis and continuous flow of the solution during 120 min, the concentration of CN- was determined every 20 min. For this, a UV spectrophotometric method was used, which consisted of reacting the problem solution with sodium picrate to obtain a reddish orange coloration.

After the treatments, it was possible to demonstrate the removal of CN-, being more significant with the TiO<sub>2</sub>.Ln 1%.

**Keywords:** Titanium (IV) oxide, Rare earth, Sol-gel, anatase, cyanide

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

<sup>a</sup> Autor para correspondencia: [rleon@utmachala.edu.ec](mailto:rleon@utmachala.edu.ec) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7104-2492>

<sup>b</sup> E-mail: [wleon@utmachala.edu.ec](mailto:wleon@utmachala.edu.ec) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5474-430X>

<sup>c</sup> E-mail: [dsanmartin@utmachala.edu.ec](mailto:dsanmartin@utmachala.edu.ec) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4680-4042>

<sup>d</sup> E-mail: [svalverded@utmachala.edu.ec](mailto:svalverded@utmachala.edu.ec) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0423-3883>

### Citar como:

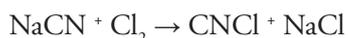
León, R., León, W., San Martín, D. & Valverde, S. (2023). Síntesis de óxido de Titanio (IV) dopado con tierras raras para la remoción de Cianuro. *Ciencia e Investigación* 2023 26(1): 31-38. doi: <https://doi.org/10.15381/ci.v26i1.27485>

© Los autores. Este artículo es publicado por la Ciencia e Investigación de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

## 1. INTRODUCCIÓN

El TiO<sub>2</sub> ha sido utilizado ampliamente como fotocatalizador debido a su excelente rendimiento y también como consecuencia de su bajo costo y buena estabilidad química. Muchos trabajos buscan mejorar su actividad fotocatalíticas del TiO<sub>2</sub> por medio de la introducción de aditivos<sup>1</sup> tanto de cationes como de aniones<sup>2</sup>. El interés científico por sintetizar, manipular, caracterizar y aplicar nanopartículas se debe a que estas partículas presentan propiedades mejoradas e incluso diferentes a las de tamaño macro, debido a que su tamaño de partícula está en el orden de los nanómetros (10<sup>-9</sup> m)<sup>3</sup>. Varios estudios han demostrado que el dopaje con tierras raras, mejora la actividad fotocatalítica bajo Luz visible, debido a que se modifica sus propiedades como fotocatalizador<sup>4</sup>, por la presencia de orbitales f de los iones de tierras raras, que son capaces de formarse complejos con diversas estructuras de Lewis, concentrando de esta manera los sustratos en la superficie del fotocatalizador<sup>5</sup>. Para la síntesis se empleó 3 diferentes lantánidos que según la bibliografía tiene antecedentes en la remoción de Cianuros, entre estos metales fueron: Lantano<sup>1</sup>, Cesio<sup>6</sup> y Europio<sup>7</sup>.

El cianuro es ampliamente utilizado por la industria minera para la disolución o lixiviación de metales preciosos, específicamente el oro<sup>6</sup>. Su alto grado de toxicidad lo convierten en un compuesto de gran peligrosidad si no es manipulado de manera adecuada, pudiendo originar considerables problemas ambientales<sup>8</sup>. Se han aplicado métodos físicos, químicos y biológicos para eliminar el cianuro. La técnica fisicoquímica generalmente aceptada para el tratamiento de aguas que contienen compuestos de cianuro es la cloración alcalina<sup>9</sup>.



Producto de la reacción se forma Cloruro de cianógeno (CNCl), un gas sumamente toxico que tiene muy poca solubilidad<sup>10</sup>. El destino del CNCl depende mucho de la alcalinidad de la solución y de la fotooxidación porque se puede hidrolizar en Ion cianato (CN<sup>-</sup>), compuesto 1000 veces menos toxico que el cianuro<sup>9</sup>.

La aplicación de TiO<sub>2</sub> permite obtener CN<sup>-</sup> sin utilizar la cloración y de esta manera evitar la obtención de compuestos toxico<sup>10</sup> permitiendo obtener una remoción de cianuro en otros compuestos menos tóxicos como nitratos, dióxido de carbono y agua.

El presente trabajo busca al igual que otras investigaciones obtener materiales capaces de remover el cianuro de aguas, aplicando los métodos más eficientes para su síntesis como fue el Sol – gel<sup>11</sup> y para caracterización mediante Difracción de rayos X, Fluorescencia de Rayos X, Espectroscopia infrarroja y Microscopia de Barrido Materiales y métodos<sup>12</sup>.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales

Para la síntesis se utilizó Etóxido de Titanio (IV) como precursor orgánico del Oxido de Titanio (IV); para doparlo se utilizó Nitrato de europio (III) pentahidratado, Cloruro de lantano (III) Heptahidratado y Cloruro de Cerio (III) heptahidratado todos de la marca SIGMA - ALDRICH.

### 2.2. Síntesis de óxido de titanio (IV)

Para la síntesis de Óxido de Titanio (IV) se empleó en método Sol-gel porque nos permite obtener la fase anatasa, la cual presenta propiedades fotocatalítica en presencia de luz UV<sup>11</sup>; además también se necesitó que el método garantice el dopaje con tierras raras dentro de su estructura<sup>13,14</sup>. Inicialmente se determinó las cantidades estequiométricas necesarias para la síntesis, en la práctica se realizó una mezcla de 1 mL de etóxido de titanio (IV) con 5 mL de una solución 1:8 de Ácido Acético y Etanol respectivamente; la solución se agito durante 10 minutos con ayuda de un agitador magnético, adicionando agua hasta precipitación total (en el agua debe estar disuelta la tierra rara en forma de sal de nitrato). El gel se calentó a 60 °C durante 2 horas y a 90 °C durante 18 horas para luego ser calcinada a 400 °C por 3 horas a una rampa de ascenso de temperatura de 10 °C/min<sup>13</sup>. El dopaje se realizó a una concentración de 1% en relación molar; además, se tomó en consideración el estado en el que se encuentran las tierras raras porque para la síntesis se debe emplear en sales de nitrato<sup>15</sup> para lo cual se procedió a nitrificar los metales con la cantidad estequiométrica necesaria de ácido nítrico concentrado.

### 2.3. Caracterización de materiales

Se analizó todos los materiales sintetizados para determinar su naturaleza, estructura y propiedades para ello se realizó Fluorescencia de rayos X, Difracción de rayos X, Microscopia de barrido electrónico, Espectroscopia de infrarrojo.

### 2.4. Remoción de cianuro

Se determinó la actividad fotocatalítica de todos los materiales preparados aplicando una dosis 1 g/L del TiO<sub>2</sub> dopado en la solución problema para todos los tratamientos 9. En la práctica se tomó 100 mL de NaCN 40 mg/L y se adiciono 100 mg del material sintetizado, la mezcla se colocó en el reactor de flujo continuo dotado de una lámpara UV OPP – 625 en el cual se procedió a irradiar con Luz UV la solución durante 2 horas a flujo continuo impulsado con una bomba HEIDOLPH pumpdrive 5001<sup>1</sup>. Cada 20 minutos se procedió a tomar una muestra de la solución problema para su análisis y así verificar la remoción de CN<sup>-</sup> con ayuda de un espectrofotómetro UV.

Con la finalidad de potenciar el proceso fotocatalítico se optó por aplicar un sistema combinado con ayuda de

$H_2O_2$ <sup>16</sup>; la incorporación de un agente oxidante ayuda a la formación de Radicales  $(OH)^{\cdot}$ , promoviendo así la oxidación de cianuros a cianatos<sup>9</sup>. Se procedió a adicionar 1 mL de  $H_2O_2$  por cada litro de la solución de NaCN 40mg/L para remover los cianuros mediante el método explicado anteriormente.

## 2.5. Determinación cuantitativa de cianuro.

La determinación de cianuro se realizó utilizando un espectrofotómetro UV JENWAY 7305 a una longitud de onda de 550 nm, y se adaptó el método de la Reacción de Grignard el cual consistió en liberar el CN- para que reaccione con una solución de picrato sódico dando una coloración amarilla a naranja rojizo<sup>17</sup>; según la intensidad del color presentada se pudo determinar la cantidad de cianuro con la ayuda de una curva de calibración preparada con cianuro sódico.

### 2.5.1. Preparación de la curva de calibración.

En la determinación de cianuro en agua se necesitó de una curva de calibración la cual se preparó con NaCN a diferentes concentraciones que fueron 40, 30, 20, 10, 5 y 2.5 mg/L.

### 2.5.2. Preparación del Picrato Sódico.

Se pesó en una balanza analítica 0,5 g de Carbonato sódico y se mezcla con 0,05 g de Acido pícrico, la mezcla se diluyo hasta 100 mL en un balón volumétrico con agua destilada para formar Picrato sódico; finalmente se ajustó a un pH 11.8 con ayuda de una solución de NaOH 0.1mol/L<sup>17</sup>.

### 2.5.3. Cuantificación de cianuros.

Se tomó en un tubo de ensayo 2 mL de muestra problema tratada y 2 mL de Picrato sódico, la mezcla se colocó de 60 a 70 °C en Baño maría durante 1 hora para asegurar la liberación del CN- y la reacción total. Una vez terminada la reacción se midió en un espectrofotómetro UV a una longitud de onda de 550 nm. A partir de la curva de calibración de determinó la ecuación de la

línea de tendencia para despejar Y, y así determinar la concentración con ayuda de esta.

## 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los siguientes gráficos y tablas donde se evidencia los resultados obtenidos en esta investigación tanto en caracterización de los materiales sintetizados como en la aplicación para la remoción de Cianuro.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización

En el espectro del Óxido de Titanio (IV) de pudieron identificar picos característicos de la fase anatasa cuyos valores coincidían con el patrón de código 96-720-6076 de la base de datos COD\_2016\_conv45 que exhibe picos en valores de  $2\theta$  de 25.302°; 38.560°; 48.037°; 53.856°; 55.059°; 62.668°; 68.97°; 70.287° y 75.021°, que corresponden a los planos cristalinos (1 0 1), (1 1 2), (2 0 0), (1 0 5), (2 1 1), (2 0 4), (2 2 0) y (2 1 5), respectivamente. En la figura 1 se puede observar cómo estos picos coinciden en especial el 1 0 1 que es característico de la fase anatasa<sup>12</sup>

Los materiales dopados con Tierras Raras también fueron caracterizados dando resultados similares al espectro del óxido de Titanio (IV), tal como se observa en la figura 2. Como se puede apreciar no existe variación en la posición de los picos, lo cual puede estar asociado a la baja concentración del metal dopante, confirmando además que el metal probablemente se encuentra formando parte de la estructura cristalina del TiO<sub>2</sub>. Adicionalmente, se puede observar valores de  $2\theta$  25.302 en el pico característico de la fase anatasa, manteniéndose constante en todos los materiales dopados<sup>5</sup>.

En la figura 3 se aprecia la presencia de picos en la región de 500 a 550  $cm^{-1}$  los cuales son clara evidencia del grupo funcional Ti-O-Ti, grupo característico de la fase anatasa<sup>11</sup>, además, en la región de 600  $cm^{-1}$  no

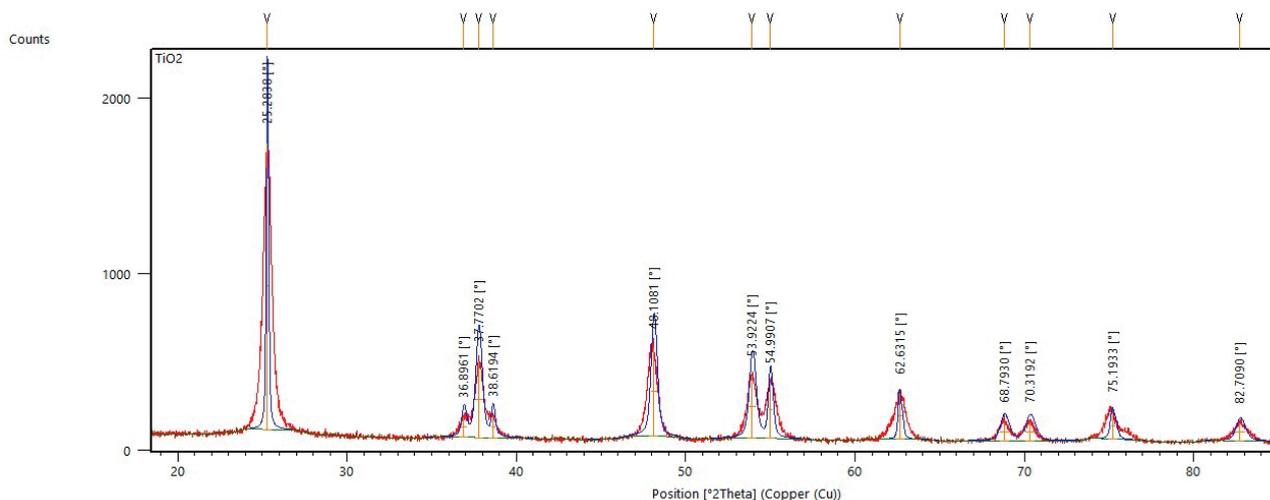
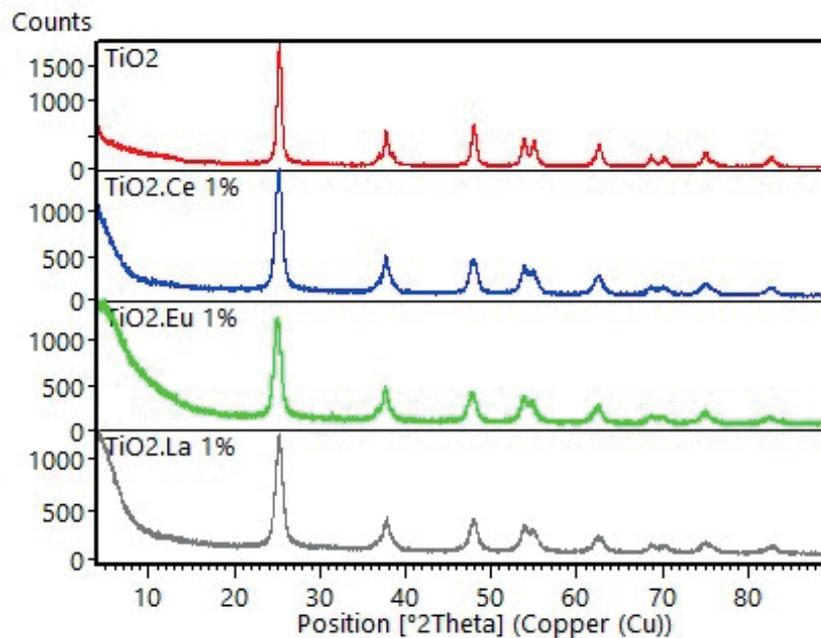
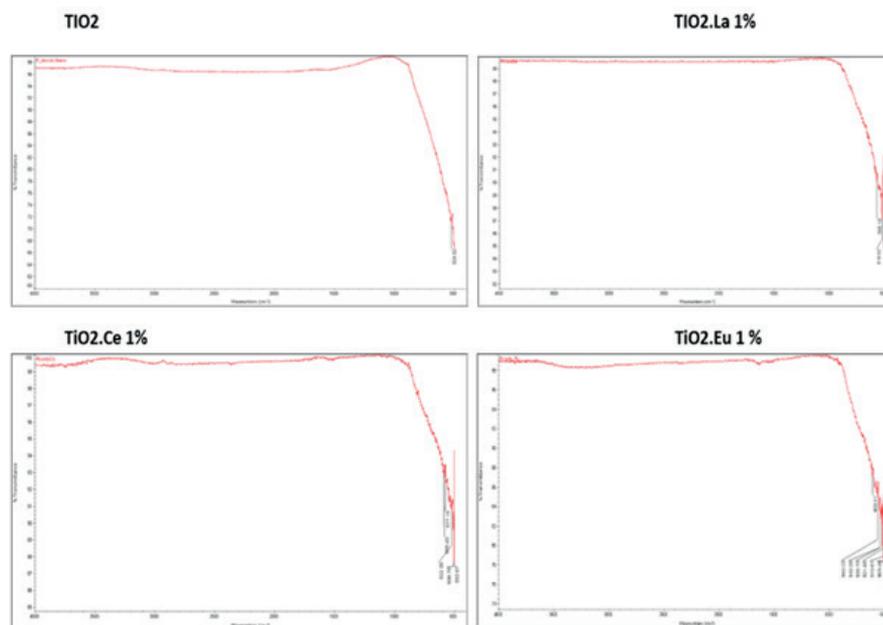


Figura 1. Difractograma de rayos-X de óxido de Titanio (IV) sintetizado.



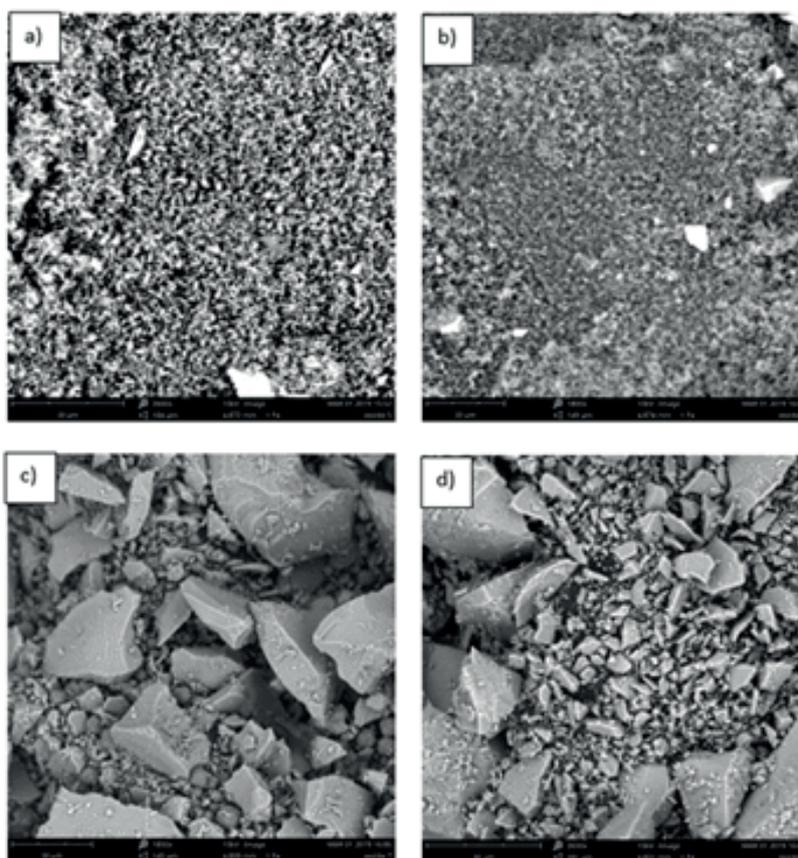
**Figura 2.** Difractograma de rayos-X de óxido de titanio (IV) sintetizado y dopado con tierras raras.



**Figura 3.** Espectro infrarrojo de los materiales dopados con tierras raras.

se aprecia picos descartando grupos funcionales como Ti-OH, Ti-O, Ti-C, O-H u otro compuesto. Por lo cual, se puede afirmar que se trata de una muestra de TiO<sub>2</sub> puro<sup>18</sup>. En los materiales dopados se puede apreciar la presencia de más picos en la región 500 a 550 cm<sup>-1</sup> los cuales pueden corresponder a las tierras raras que forman grupos X-O o Ti-X, esto se evidencia de mejor manera en la muestra de TiO<sub>2</sub>.Eu 1% en donde la presencia de muchos picos indica mayor cantidad de grupos formados<sup>18</sup>.

En la figura 4 se puede apreciar la morfología de los materiales dopados presentando una estructura amorfa e irregular y tamaños de partícula inferiores a 30  $\mu\text{m}$  pudiendo decir que con el método sol-gel es posible obtener nanopartículas, también se destaca que el TiO<sub>2</sub> y el TiO<sub>2</sub>.La 1% presentan un menor tamaño de partícula en relación a los otros materiales.



**Figura 4.** Microscopías de materiales dopados; a) TiO<sub>2</sub>; b) TiO<sub>2</sub>.La 1%; c) TiO<sub>2</sub>.Eu 1%; d) TiO<sub>2</sub>.Ce 1%.

## 4.2. Remoción de Cianuro

El TiO<sub>2</sub> sintetizado y dopado demostró remover cianuros durante el tiempo que duro el tratamiento, en la figura 5 se puede apreciar que es más efectivo que el TiO<sub>2</sub> P25 comercial, y también que al aplicar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> este ayuda a una mayor remoción, esto se debe a que aporta con agentes oxidantes que oxidan directamente al cianuro y algunos de los intermediarios<sup>18</sup>.

La remoción de cianuro con los materiales dopados con tierras raras demostró ser más eficaz con el Lantano (La) seguido del Cesio (Ce), el Europio (Eu) no fue favorable. Realizado un ANOVA demuestra que entre los tratamientos aplicados existe variabilidad con un valor de  $p = 0,0001$ , dando como el mejor tratamiento con lantano (figura 6). En comparación con el TiO<sub>2</sub>, las tierras raras le atribuyen una mayor remoción de cianuros por medio de la interacción de los electrones  $f$  de los lantánidos con los grupos funcionales de estos compuestos, facilitando el contacto del semiconductor con el material contaminante y mejorando el proceso fotocatalítico<sup>4</sup>.

El sistema combinado con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ayuda a una mayor remoción en todos los casos se puede observar en la figura 7 que aumenta la remoción de cianuros y de igual manera es más favorable para el TiO<sub>2</sub>.Ln 1% llegando a

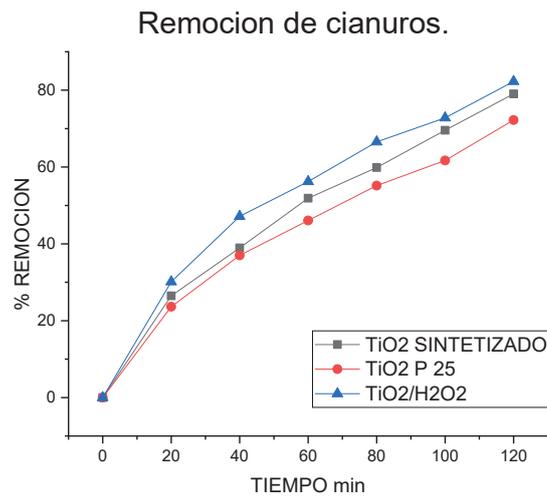
remover más del 90% de cianuro durante los 120 min del tratamiento.

## 5. CONCLUSIONES

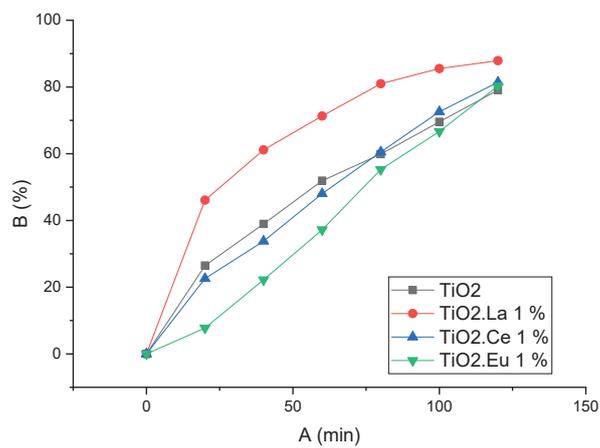
En esta investigación se logró obtener TiO<sub>2</sub> mediante el método Sol Gel que luego de caracterizarlo demostró ser fase anatasa, así mismo este método fue favorable para el dopaje con los metales de tierras raras. Los tratamientos demostraron ser más efectivos que el TiO<sub>2</sub> puro, se pudo concluir que el material dopado con Lantano al 1% resulto más eficaz para la remoción de cianuro a diferencia con Cesio al 1% también mejoro, pero sin llegar a alcanzar niveles similares que con Lantano. Las concentraciones de Cianuro de las muestras problemas se obtuvieron validando un nuevo método en reacción con el picrato sódico dando gran éxito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

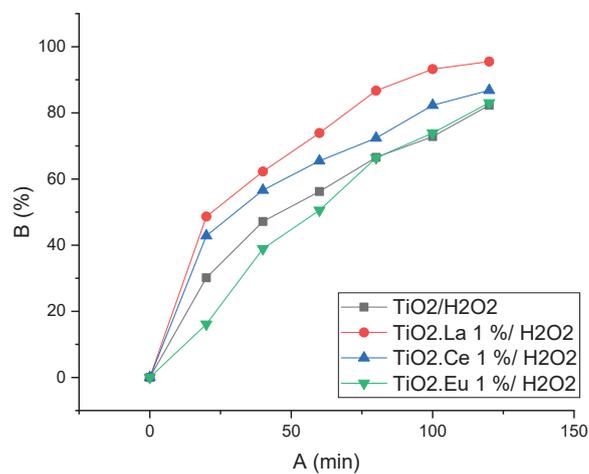
- Zhang Y, Wang Q, Tian X. Effect of lanthanum-doped amount on photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>/bentonite in cyanide wastewater. *International Journal of Environmental Engineering*. 1 de enero de 2016;8(2-3):139-47.
- SciELO - Brazil - Segregação superficial de MgO em nanopartículas de TiO<sub>2</sub> Segregação superficial de MgO em nanopartículas de TiO<sub>2</sub> [Internet]. [citado 5 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/ce/a/Dfy8GSdFSg8HD-JTX7BTXWyc/?lang=pt>



**Figura 5.** Porcentaje de Remoción de cianuros.



**Figura 6.** Remoción de cianuro con TiO2 dopado con tierras raras.



**Figura 7.** Remoción de cianuro mediante sistema combinado con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

**Tabla 1.** Remoción de cianuro a 60 y 120 min, aplicando TiO<sub>2</sub> dopado con tierras raras.

Materiales	60 min			120 min		
	mg/L	% Remoción	% d/s	mg/L	% Remoción	% d/s
TiO <sub>2</sub>	19,24	51,90	1,29	8,38	79,05	0,65
TiO <sub>2</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	17,52	56,21	1,29	7,09	82,28	0,43
TiO <sub>2</sub> .La 1 %	11,48	71,29	0,43	4,84	87,89	0,65
TiO <sub>2</sub> .La 1 %/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	10,43	73,92	2,27	1,80	95,51	0,57
TiO <sub>2</sub> .Ce 1 %	20,79	48,02	1,29	7,43	81,42	0,22
TiO <sub>2</sub> .Ce 1 %/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	13,81	65,47	0,22	5,28	86,81	0,43
TiO <sub>2</sub> .Eu 1 %	25,11	37,22	2,78	7,89	80,28	1,94
TiO <sub>2</sub> .Eu 1 %/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	19,78	50,56	0,56	6,78	83,06	0,83

- Costa ACFM, Vilar MA, Lira HL, Kiminami RHGA, Gama L. Síntese e caracterização de nanopartículas de TiO<sub>2</sub>. *Cerâmica*. diciembre de 2006;52:255-9.
- Medina Sierra JC. Efecto del dopaje con elementos lantánidos sobre las propiedades ópticas, estructurales y fotocatalíticas de TiO<sub>2</sub>. 29 de agosto de 2014 [citado 5 de septiembre de 2023]; Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55267>
- Desarrollo de fotocatalizadores basados en TiO<sub>2</sub> en forma de película delgada para la degradación de moléculas orgánicas en solución acuosa [Internet]. [citado 5 de septiembre de 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-56912021000100001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912021000100001)
- Solvothermal Synthesis of CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Nanocomposite for Visible Light Photocatalytic Detoxification of Cyanide | ACS Sustainable Chemistry & Engineering [Internet]. [citado 5 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/sc400195n>
- Gómez LS, Marinkovic K, Martín Hernández MI, Mena I, Milosevic O, Rabanal ME. Síntesis y caracterización de partículas nanoestructuradas de óxidos de tierras raras dopadas con Eu para propiedades luminiscentes obtenidas mediante técnicas de aerosol. *Synthesis and characterization of rare earth oxide nanostructured particles doped with Eu for luminescent applications* [Internet]. enero de 2009 [citado 5 de septiembre de 2023]; Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/17117>
- Guerrero, J. J. (2005). Cianuro: Toxicidad y Destrucción Biológica. *El Ingeniero de Minas*, 10(November 2013), 22–25. Recuperado de <http://www.sabetodo.com/documentos/cianurotoxdestrucbiologica.pdf>
- Mehdi Shirzad-Siboni, Mohammad Reza Samarghandi, Yang JK, Lee SM. Photocatalytic removal of cyanide with illuminated TiO<sub>2</sub>. *Water Science and Technology* [Internet]. 2011 Oct 1 [cited 2023 Sep 6];64(7):1383–7. Available from: <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/64/7/1383/16263/Photocatalytic-removal-of-cyanide-with-illuminated?redirected-From=fulltext>
- Chiang K, Amal R, Tran T. Photocatalytic degradation of cyanide using titanium dioxide modified with copper oxide. *Advances in Environmental Research*. 1 de octubre de 2002;6(4):471-85.
- Urbano MAV, Muñoz YHO, Fernández YO, Mosquera P, Páez JER, Amado RJC. Nanopartículas de tio<sub>2</sub>, fase anatasa, sintetizadas por métodos químicos. 2011;
- Mosquera E, Rosas N, Debut A, Guerrero VH. Síntesis y caracterización de nanopartículas de dióxido de titanio obtenidas por el método de sol-gel. *Revista Politécnica*. 30 de septiembre de 2015;36(3):7-7.
- Reszczyńska J, Iwulska A, Sliwinski G, Zaleska A. Characterization and photocatalytic activity of rare earth metal-doped titanium dioxide. *Physicochem Probl Miner Process*. 1 de enero de 2012;48(1):201-8.
- Grabowska E, Reszczyńska J, Zaleska A. RETRACTED: Mechanism of phenol photodegradation in the presence of pure and modified-TiO<sub>2</sub>: A review. *Water Research*. 1 de noviembre de 2012;46(17):5453-71.
- Seong Hee Kim, Sang Woo Lee, Gye Min Lee, Byung Tae Lee, Seong Taek Yun, Soon Oh Kim. Monitoring of TiO<sub>2</sub>-catalytic UV-LED photo-oxidation of cyanide contained in mine wastewater and leachate. *Chemosphere* [Internet]. 2016 Jan 1 [cited 2023 Sep 1];143:106–14. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653515007262?via%3Dihub>
- Karunakaran C, Gomathisankar P, Manikandan G. Preparation and characterization of antimicrobial Ce-doped ZnO nanoparticles for photocatalytic detoxification of cyanide. *Materials Chemistry and Physics*. 1 de octubre de 2010;123(2):585-94.
- Rojas A., Luisa, Jaramillo J., Carmita, Lemus B., Mairin. Métodos analíticos para la determinación de metabolitos secundarios de plantas. *UTMACH* [Internet]. 2016 [cited 2023 Sep 6]; Available from: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6653>
- Barbosa López AL, Castro Sierra IM. Comparative Study of Catalytic Systems T iO<sub>2</sub> and N b<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. *ing.cienc.* [Internet]. 2012 Nov. 30 [cited 2023 Sep. 5];8(16):257-80. Available from: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/1714>

**Conflictos de interés**

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la publicación de este artículo.

**Fuente de financiamiento**

El presente trabajo fue financiado a través de recursos propios de los investigadores.