

Síntesis de nanopartículas de TiO₂ utilizando el extracto de *Ricinus communis L.*

Paola F. Vera-García^a, Aidé Sáenz-Galindo^a, Ramón E. Díaz de León^b, Adalí O. Castañeda-Facio^{a*}

^aFacultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. Venustiano Carranza esq. José Cárdenas Valdés Col. República, CP. 25280 1, Saltillo, Coahuila, México.

^bCentro de Investigación en Química Aplicada, Blvd. Enrique Reyna, San José de los Cerritos, CP. 25294, Saltillo, Coahuila, México.

Synthesis of TiO₂ nanoparticles using the extract of Ricinus communis L.

Síntesi de nanopartícules de TiO₂ fent servir l'extracte de Ricinus communis L.

RECEIVED: 30 AUGUST 2021; REVISED: 10 MAY 2022; ACCEPTED: 27 JULY 2022

ABSTRACT

The Synthesis of titanium dioxide nanoparticles (NPsTiO₂) using plant extracts presents a green chemistry approach, for this reason, it is intended to synthesize NPsTiO₂ from the *Ricinus communis L.* extract. First, the aqueous extract was obtained, adding 300 mL of water to the crushed leaves of *Ricinus communis L.* and kept under constant stirring. Subsequently, for the synthesis, TiCl₄ and NH₄OH were added dropwise to the extract. The reaction conditions such as temperature (25-100 °C) and reaction time (5-120 h) were varied. Finally, the samples were filtered, washed and calcined. The samples were analyzed by HPLC-MS, where the presence of the families of catechins, flavanols and hydroxycoumarins was observed, as well as chemical compounds such as scopoletin, 4-*O*-glucoside of gallic acid, which present -OH groups in their structures. Through FTIR, the presence of -OH groups from the extract were observed. The FTIR of the nanoparticles show bands of the -OH group showing that hydroxyl groups can contribute to the improvement of photocatalytic activity. The obtaining of TiO₂ with anatase phase was demonstrated by XRD.

Keywords: TiO₂, synthesis, green chemistry, *Ricinus communis L.* extract

RESUMEN

La síntesis de nanopartículas de dióxido de titanio (NPsTiO₂) mediante extractos de plantas presenta un enfoque hacia la química verde, por esta razón que se

pretende sintetizar NPsTiO₂ a partir del extracto *Ricinus communis L.* Primeramente se obtuvo el extracto acuoso, agregando a las hojas trituradas de *Ricinus communis L.* 300 mL de agua y se mantuvo en agitación constante. Posteriormente para la síntesis al extracto se le adicionó TiCl₄ y NH₄OH gota a gota. Se variaron condiciones de reacción como temperatura (25-100 °C) y tiempo de reacción (5-120 h). Finalmente, las muestras fueron filtradas, lavadas y calcinadas. Las muestras fueron analizadas mediante HPLC-MS, donde se observó la presencia de las familias de catequinas, flavonoles e hidroxycumarinas, también compuestos químicos como escopoletina, 4-*O*-glucósido de ácido gálico, los cuales presentan grupos -OH en sus estructuras. Mediante FTIR se observó la presencia de grupos -OH provenientes del extracto. Los FTIR de las nanopartículas presentan bandas del grupo -OH demostrando que los grupos hidroxilos pueden contribuir a la mejora de la actividad fotocatalítica. Se demostró la obtención del TiO₂ con fase anatasa mediante DRX.

Palabras clave: TiO₂, síntesis, química verde, extracto de *Ricinus communis L.*

RESUM:

La síntesi de nanopartícules de diòxid de titani (NPsTiO₂) mitjançant extractes de plantes presenta un enfocament cap a la química verda, per això es pretén sintetitzar NPsTiO₂ a partir de l'extracte *Ricinus*

*Corresponding author: adali.castaneda@uadec.edu.mx

communis L. Primerament es va obtenir l'extracte aquós, afegint a les hotos triturades de *Ricinus communis* L. 300 mL daigua i es va mantenir en agitació constant. Posteriorment per a la síntesi a l'extracte se li va afegir TiCl_4 i NH_4OH gota a gota. Es van variar condicions de reacció com a temperatura (25-100°C) i temps de reacció (5-120 h). Finalment, les mostres van ser filtrades, rentades i calcinades. Les mostres van ser analitzades mitjançant HPLC-MS, on es va observar la presència de les famílies de catequines, flavonols i hidroxicumarines, també compostos químics com a escopoletina, 4-O-glucòsid d'àcid gàlic, els quals presenten grups -OH a les seves estructures. Mitjançant FTIR es va observar la presència de grups OH provinents de l'extracte. Els FTIR de les nanopartícules presenten bandes del grup -OH demostrant que els grups hidroxils poden contribuir a millorar l'activitat fotocatalítica. Es va demostrar l'obtenció del TiO_2 amb fase anatasa mitjançant DRX.

Paraules clau: TiO_2 , síntesi, química verda, extracte de *Ricinus communis* L.

INTRODUCCIÓN

El dióxido de titanio TiO_2 se encuentra catalogado como sustancia inorgánica sólida de color blanco, ampliamente utilizado debido a la estabilidad, bajo costo y disponibilidad comercial¹⁻³. Este material es de gran interés por su naturaleza no tóxica y al amplio uso en diversas aplicaciones debido a las propiedades ópticas, fotocatalíticas, antimicrobianas, alta estabilidad química y térmica, entre otras que posee. Dichas propiedades dependerán del tamaño, morfología, composición, y fase cristalina de las nanopartículas⁴⁻⁷. Este material se caracteriza por presentar tres fases cristalinas diferentes en su estructura como la anatasa, rutilo y brookita, siendo la fase anatasa la que presenta mejores propiedades químicas y físicas para la remediación ambiental⁸⁻¹⁰.

Las NPsTiO_2 tienen aplicaciones como en la pasta de dientes, colorantes alimentarios, cosméticos, dispositivos electroquímicos, sensores, catalizadores, cremas para la piel, textiles y recubrimientos antimicrobianos¹¹⁻¹³. La mayoría de las nanopartículas metálicas y óxido metálico se sintetizan mediante varios métodos, algunos de los métodos sintéticos comúnmente utilizados son reducción, sol-gel, electroquímica, microondas, combustión, coprecipitación, deposición química de vapor, entre otros^{2,14-17}. Pero estos métodos presentan las desventajas de utilizar reactivos químicos tóxicos para el medio ambiente, el uso de altas temperaturas, altas presiones, requieren de gran energía y son métodos costos. Actualmente, el desarrollo hacia la química verde ha propiciado la búsqueda de procesos respetuosos con el medio ambiente para la síntesis de nanopartículas de TiO_2 , utilizando fuentes biológicas disponibles en la naturaleza como plantas, algas, hongos, levaduras, virus y bacterias. Esta síntesis verde de fuentes biológicas presenta la ventaja de ser una metodología más limpia

con el medio ambiente, es rentable, son procesos más fáciles ya que se pueden llevar a temperatura ambiente, lo que resulta en ahorro de energía.

Dentro de la síntesis verde de nanopartículas se puede utilizar las diferentes partes de la planta y frutos como las hojas, cáscaras, flores, raíces, y tallos, debido a que son ricos en diversos compuestos que ayudan a la síntesis de las nanopartículas¹⁷⁻²¹.

Existen investigaciones sobre la síntesis de NPsTiO_2 utilizando extractos de plantas como *Euphorbia heteradena jaub*, *Psidium guajava*, *Peltophorum pterocarpum*, *Coffea*, *Moringa oleifera*, *M. citrifolia*, *Catharanthus roseus*, *Aloe vera*, *Azadirachta indica*, entre otros^{8,22-28}. Se han realizado estudios de la obtención de las NPsTiO_2 con extractos de plantas como el que realizó Srinivasan y col., donde sintetizaron NPsTiO_2 a partir del extracto de *Sesbania grandiflora*, obteniendo como resultados NPsTiO_2 fase rutilo y tamaño de partícula promedio en el rango de 43-56 nm, además mediante FTIR confirmaron la participación de familias de alquinos, alcanos, flavonoides y alcoholes para la protección y reducción de las NPsTiO_2 ²⁹. Reddy y col., investigaron la síntesis de NPsTiO_2 con los extractos de *Ocimum tnuiflorum* (OT) y *Calotropis gigantea* (CG) para el funcionamiento como material de almacenamiento de energía electroquímica. Como resultados obtuvieron mediante el extracto de OT fase anatasa y tamaño promedio de partícula de 100 nm, mientras que en el extracto de CG obtuvieron fase rutilo y tamaños promedio de partícula de 200 nm³⁰.

La planta *Ricinus communis* L. es una planta típica de Coahuila comúnmente llamada "higuerilla o ricino" perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*. Es característica por sus hojas verdes claro y marrón debido a la cantidad de pigmentación de antocianinas presentes y a sus frutas que son en forma de cápsula con espinas en su exterior. Dentro de estas capsulas se encuentran las semillas de donde extraen el aceite de ricino, que tiene un gran contenido en hidroxiacidos que brinda una serie de propiedades interesantes^{31,32}. El aceite extraído de las semillas presenta diferentes aplicaciones, dentro de las más características es como uso de laxante, antidiabético, analgésico e insecticida^{33,34}. Dentro de la composición de hojas, tallos, raíces y frutos se presentan compuestos químicos como quercetina, ácido gálico, epicatequina, derivados del kaempferol, isoquercitina 2,5 dihidroxibenzoico, entre otros. Y rico en familias como alcaloides, flavonoides, saponinas, terpenoides y esteroides^{33,35-38}.

La diversidad de grupos funcionales que contienen los extractos de plantas, la no patogenicidad, el bajo costo y la flexibilidad en los parámetros de reacción resultan en la alta productividad de nanopartículas con diferentes formas, tamaños y aplicaciones. Se han realizado estudios bioquímicos cualitativos que sugieren la participación de diversas familias tales como terpenoides, flavonoides, polifenoles, saponinas, proteínas, que contiene grupos funcionales como cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos y alcoholes que ayudan a la reducción del metal precursor y la obtención de las nanopartículas^{18,19}.

La síntesis de nanopartículas de TiO_2 mediante extractos de plantas presenta un enfoque hacia la química

verde que relaciona a la nanotecnología, por lo tanto, en esta investigación se pretende sintetizar nanopartículas de TiO_2 a partir de métodos biológicos, específicamente con extractos de *Ricinus communis L.*

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

Las hojas de *Ricinus communis L.* se recolectaron de árboles que crecen en la localidad de Saltillo, Coahuila, México. El tetracloruro de titanio (TiCl_4 , 99%) se adquirió en Sigma-Aldrich. El hidróxido de amonio (NH_4OH , 98%) se adquirió en Jalmek.

Preparación del extracto de *Ricinus communis L.*

Las hojas frescas recolectadas de *Ricinus communis L.* se lavaron con agua, se cortaron y se llevaron a secar a una estufa por 30 h. Después se trituraron hasta la obtención de un polvo, posteriormente se realizó una infusión agregando el polvo del extracto a 350 mL de agua destilada, y se mantuvo a 60° por 1 h en agitación constante. Finalmente, la infusión se filtró para retirar los sólidos.

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITANIO

Para la obtención de las NPsTiO_2 , en un matraz bola se adicionaron 25 mL de extracto acuoso, con 1 mL de TiCl_4 y 2 mL de NH_4OH manteniéndose en agitación constante. La síntesis se realizó a diferente temperatura y tiempo de reacción: 5, 24, 72 y 120 h a 25, 60, 80 y 100°C , como se muestra a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de reacción para la síntesis de nanopartículas de TiO_2 .

Muestra	Tiempo de reacción (h)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Claves
1	72	60	72-60
2	72	80	72-80
3	72	100	72-100
4	72	25	72-25
5	120	25	120-25
6	24	25	24-25
7	5	80	5-80

Posteriormente una vez que transcurrió el tiempo de reacción, se obtuvo un precipitado, el cual se centrifugó y se lavó con etanol para la eliminación de TiCl_4 y extracto que no reaccionó. Finalmente, el producto se secó y calcino en una mufla por 3 h a 450°C .

Caracterización del extracto de *Ricinus communis L.*

Mediante un cromatógrafo de líquidos Varian Prostar 330 con detector de arreglo de diodos acoplado a un espectrómetro de masas Varian 500 ms con trampa de iones (HPLC-MS) y una columna C18 ACE, se determinaron los compuestos químicos y familias

presentes en el extracto. El análisis de espectroscopía infrarrojo (FTIR) se realizaron en un equipo Perkin Elmer modelo Frontier usando el accesorio de reflectancia total atenuada ATR, para el seguimiento de los grupos funcionales presentes en el extracto.

Caracterización de las nanopartículas de TiO_2 .

La fase cristalina de los NPsTiO_2 se realizó mediante difracción de rayos X en un difractor marca PANanalytical Empyrean, los parámetros de medición fueron programados de 10 a 80° en un rango 2θ en un porta muestras de monocristal de silicio, con una corrida de 10 min CuK ($\lambda=1,54\text{\AA}$) con un voltaje de 40 kV y corriente de 30 mA. El análisis de espectroscopía FTIR se realizó en un equipo Perkin Elmer modelo Frontier con una resolución de 16 scans, para estudiar la presencia de los grupos funcionales en la superficie de las nanopartículas.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se presenta la Figura 1, donde se puede observar de manera general el proceso para la formación de las NPsTiO_2 mediante el extracto de planta de *Ricinus communis L.*, donde se puede observar que la planta presenta una coloración verde, mientras que el extracto acuoso presenta un cambio de coloración a color marrón. Después de la reacción del extracto con el TiCl_4 y NH_4OH se presenta un cambio de coloración naranja y finalmente durante el proceso de calcinación se obtiene la coloración del polvo blanco característico de las NPsTiO_2 .



Figura 1. Esquema de proceso para la formación de las NPsTiO_2 .

HPLC-MS

El cromatograma de los componentes presentes en el extracto de *Ricinus communis L.* se muestra en la Figura 2 destacando que una de las señales de mayor intensidad, corresponde al compuesto Kaempferol 3-O-ramnosil-ramnosil-glucósido que es el que se encuentra en mayor proporción, con tiempo de retención (TR) de 41.21 minutos y masa molecular de 738.9 m/z, la cual corresponde a la familia de los flavonoles. Existe otra señal de intensidad considerable con TR de 31.33 minutos y masa molecular de 354.9

m/z, la cual corresponde al compuesto 4-*O*-glucósido de ácido ferúlico y pertenece a la familia de los ácidos metoxicinámicos. Dichos resultados también fueron observados por Ghosh y colaboradores, quienes caracterizaron mediante cromatografía de capa fina de alta resolución (HPTLC), el extracto etanólico de *Ricinus communis*, mostrando la presencia de compuestos como queracitina, ácido gálico, flavonas y kaempferol y familias como alcaloides, flavonoides y saponinas³³. Por otro lado, Waris y colaboradores obtuvieron por análisis fitoquímico cualitativo del extracto de *Ricinus communis* la presencia de familias como saponinas, fenoles, alcaloides y terpenoides. Además, mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) identificaron los diferentes compuestos fenólicos presentes en el extracto, obteniendo que el compuesto más abundante fue el acetato de propilo con un TR de 3.31 minutos y el ácido 3-hidroxi-butanoico con un TR de 5.35 minutos³⁸.

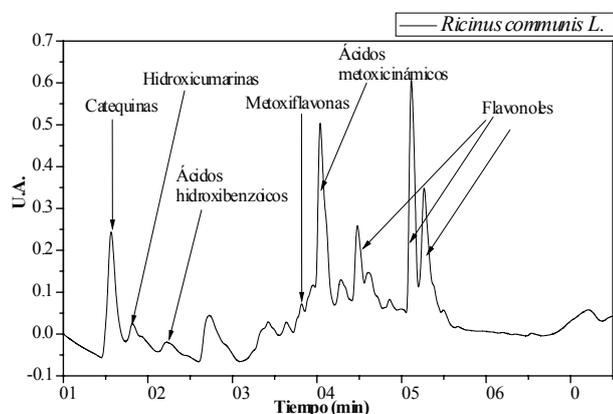


Figura 2. Cromatogramas HPLC-MS del extracto de *Ricinus communis L.*

En la Figura 3, se muestran las estructuras químicas de los compuestos presentes en el extracto de *Ricinus communis L.* Las familias obtenidas en este extracto son las catequinas, hidroxicumarinas, ácidos hidroxibenzoicos, metoxiflavonas, ácidos metoxicinámicos y flavonoles. Y compuestos químicos como la (+) catequina, escopoletina, 4-*O*-glucósido de ácido gálico, sinensetina, 4-*O*-glucósido de ácido ferúlico, Kaempferol 3-*O*- (6''-acetilgalactósido) 7-*O*-ramnosido, Galloyl-HHDP-hexoside, Kaempferol 3-*O*-glucosil-ramnosil glucósido, Kaempferol 3-*O*-ramnosil-ramnosil-glucósido, Kaempferol 3,7-*O*-diglucósido, Kaempferol 3-*O*-sophoroside y Kaempferol 3-*O*-glucósido. Kaur y colaboradores, mencionan que el extracto de planta de *Ricinus communis* contiene compuestos como epicatequina y isoquercetina 2,5-dihidroxibenzoico³⁷. Alugah y colaboradores obtuvieron familias de flavonoides y taninos en las hojas de este mismo extracto³⁵. Finalmente, Kang y colaboradores, obtuvieron los compuestos de kaempferol-3-*O*- PD xilopiranósido, kaempferol-3-*O*-PD-glucopiranósido, quercetina-3-*O*- PD- xilopiranósido, quercetina-3-*O*-PD-glucopiranósido, kaempferol-3-*O*-P-rutinosido y quercetina-3-*O*-Prutinósido³⁶.

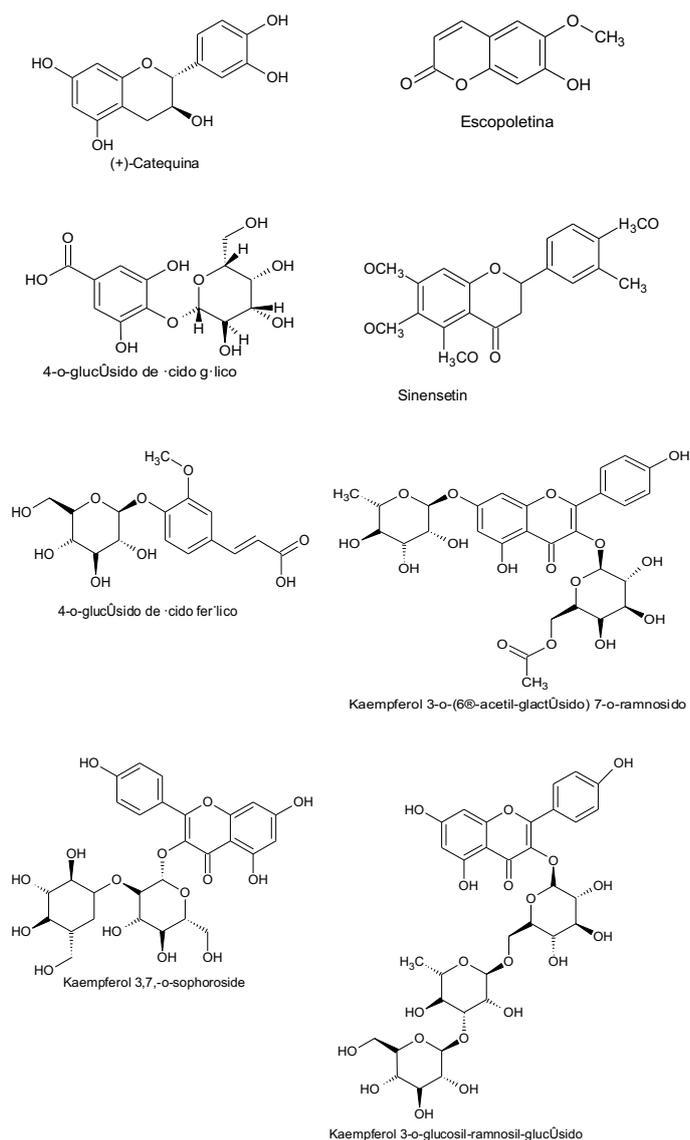


Figura 3. Compuestos identificados por HPLC-MS en el extracto de *Ricinus communis L.*

Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos del tiempo de retención, la masa, el compuesto químico y la familia perteneciente de cada uno de los componentes del extracto de *Ricinus communis L.*

FTIR DEL EXTRACTO

La espectroscopia de infrarroja se utilizó con el propósito de identificar los grupos funcionales presentes en el extracto de *Ricinus communis L.* El espectro FT-IR del extracto se muestra en la Figura 4 donde se puede observar una banda en la banda de 3278 cm^{-1} la cual corresponde a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo (-OH) de cadenas laterales ($\text{CH-OH/CH}_2\text{-OH}$), se presenta la banda en 2931 cm^{-1} atribuida a los estiramientos de los grupos metilenos (CH_2). Las bandas presentes en 1585 cm^{-1} y 1240 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de los estiramientos del grupo carbonilo C=O , las bandas de 1497-1404 cm^{-1} corresponde a las

Tabla 2. Compuestos químicos encontrados por la técnica HPLC-MS del extracto *Ricinus communis L.*

T.R. (min)	Masa (m/z) [M-H]	Compuesto químico	Familia
5.67	288.8	(+)- Catequina	Catequinas
7.45	191	Escopoletina	Hidroxicumarinas
13.6	330.9	4-O-glucósido de ácido gálico	Ácidos hidroxibenzoicos
28.14	370.9	Sinensetina	Metoxiflavonas
31.33	354.9	4-O-glucósido de ácido ferúlico	Ácidos metoxicinámicos
34.35	634.9	Kaempferol 3-O- (6'' - acetil-galactósido) 7-O-ramnosido	Flavonoles
36.46	634.9	Kaempferol 3-O- (6'' - acetil-galactósido) 7-O-ramnosido (isomero)	Flavonoles
37.65	632.9	Galloyl-HHDP-hexoside	Ácidos hidroxibenzoicos
39.53	754.9	Kaempferol 3-O-glucosil-ramnosil-glucósido	Flavonoles
41.21	738.9	Kaempferol 3-O-ramnosil-ramnosil-glucósido	Flavonoles
42.81	609	Kaempferol 3,7-O-digluósido	Flavonoles
44.23	608.9	Kaempferol 3-O-sophoroside	Flavonoles
46.57	447 (300.8)	Kaempferol 3-O-glucósido	Flavonoles

flexiones del grupo metileno (CH_2) y la banda 775 cm^{-1} corresponde a las flexiones de OH de grupos terminales. Estas mismas bandas fueron observadas por Atiku y colaboradores, Martins y colaboradores y Hernández y colaboradores) para el extracto de planta *Ricinus communis L.*³⁹⁻⁴¹.

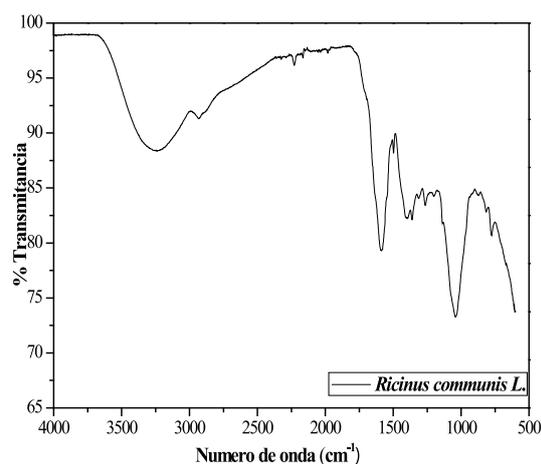


Figura 4. Espectro FTIR del extracto de planta *Ricinus communis L.*

FTIR DE NPSTIO₂

Como se muestra en la Figura 5, en donde se puede observar bandas muy similares entre sí, atribuyéndolo a los grupos funcionales responsables de la obtención del TiO_2 con el extracto de planta. Como se muestra en los espectros aparecen bandas en la región $3400\text{-}3298$ y $1640\text{-}1634\text{ cm}^{-1}$ correspondiente a las vibraciones de estiramiento de grupos hidroxilos (-OH) así flexiones O-H de la molécula del agua absorbida en la superficie de las nanopartículas. La banda del grupo hidroxilo en todos los casos es intensa sobre todo en la muestra 72-80 y podría contribuir a la actividad fotocatalítica. La intensidad de la banda es indicativo del incremento de grupos hidroxilo en la superficie de las NPSTiO_2 y estos a su vez son los responsables de la capacidad de transporte de electrones (e^-), dando como resultado una

mayor actividad fotocatalítica^{7,16,21}. La banda presente en $1041\text{-}1035\text{ cm}^{-1}$ corresponde a estiramientos de alcoholes H-C-OH ^{3,42}. Un comportamiento similar al nuestro fue observado por Dobrucka y colaboradores, donde ellos sintetizaron NPSTiO_2 a partir del extracto de *Echinacea purpurea* y Ganesan y colaboradores sintetizaron NPSTiO_2 a partir del extracto *Ageratina altissima L.*, demostrando bandas muy similares al de este trabajo^{3,17}.

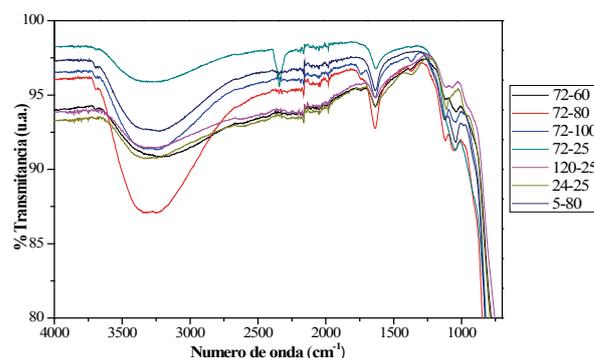


Figura 5. Espectros FTIR de NPSTiO_2 a diferentes condiciones sintetizadas con el extracto de *Ricinus communis L.*

DRX DE NPSTIO₂

Los difractogramas de las nanopartículas sintetizadas a diferentes condiciones de reacción de tiempo y temperatura se muestran en las Figuras 6. Se puede observar en todos los difractogramas los picos de difracción en $2\theta = 25.58^\circ, 36.92^\circ, 37.80^\circ, 38.69^\circ, 48.34^\circ, 54.31^\circ, 55.08^\circ, 62.99^\circ, 68.84^\circ, 70.48^\circ$ y 75.38° indexadas como (101), (103), (004), (112), (200), (105), (211), (213), (204), (116), (220), (107) y (215) los cuales se compararon con la carta cristalográfica PDF 21-1272 correspondiente al TiO_2 en fase anatasa, además no se presenta mezcla de fases o impurezas. Resultados similares fueron observados por Nabi y col., los cuales realizaron la síntesis de NPSTiO_2 a partir del extracto de *Lemon peel*, obteniendo TiO_2 en fase anatasa⁴³. Ahmad y col., sintetizaron NPSTiO_2 a partir del extracto de planta

de *Mentha arvensis*, como resultados obtuvieron fase anatasa presentando el pico característico en 25.27° indexado como (110)⁴⁴. Además en la figura 6 también se puede observar que los picos de difracción presentan un ensanchamiento y según Mauya y col., se puede atribuir a un menor tamaño de partícula⁴⁵. Otra observación interesante es que las muestra 5-80 y 24-25 presentan picos más intensos y definidos en comparación con las demás muestras atribuyéndolo a una alta cristalinidad del TiO₂, lo cual es favorable para incrementar la actividad fotocatalítica²¹.

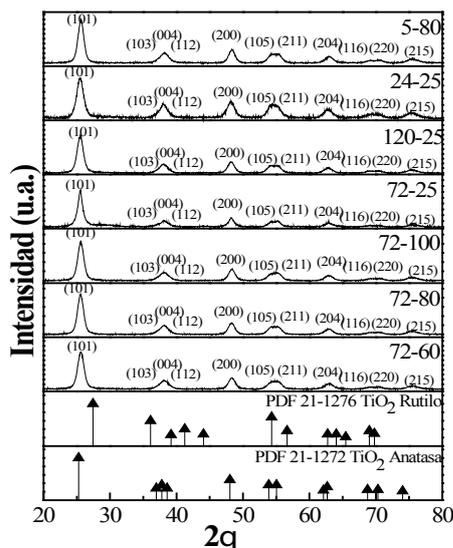


Figura 6. Difractograma de NPsTiO₂ sintetizados con el extracto *Ricinus communis L.* diferentes condiciones de reacción.

CONCLUSIONES

El extracto de *Ricinus communis L.* demostró ser excelente para la obtención de NPsTiO₂. Mediante la técnica de HPLC se determinaron las familias y compuestos químicos presentes en el extracto de *Ricinus communis L.*, que influyen en la formación de las nanopartículas de TiO₂. Mediante el análisis de FTIR se obtuvieron las bandas características de los grupos funcionales presentes en las familias del extracto, así mismo, también se determinó grupos -OH en la superficie de las NPsTiO₂. Además, los resultados de DRX demostraron la obtención TiO₂ en fase anatasa en todas las condiciones de reacción utilizadas; lo cual se demuestra que la síntesis de NPsTiO₂ empleando el extracto de *Ricinus communis L.* resultó ser un método eficaz y rápido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) México por la beca otorgada en el Programa de Doctorado de Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad Autónoma de Coahuila.

NOMENCLATURA

2θ	Ángulo dos θ correspondiente al DRX
HPLC-MS	Cromatografía líquida de alto rendimiento acoplada a masas
DRX	Difracción de rayos X
TiO ₂	Dióxido de titanio
FTIR	Espectroscopía infrarroja
UV-Vis	Espectrofotometría ultravioleta visible
°C	Grados celsius
g	Gramos
g/mol	Gramos/mol
hrs	Horas
ml	Mililitros
min	Minutos
nm	Nanómetros
NPsTiO ₂	Nanopartículas de dióxido de titanio
TR	Tiempo de retención

REFERENCIAS

1. Negi, C., Sharma, H., Kandwal, P., Singhal, R. & Dwivedi, C. Carbon-doped titanium dioxide nanoparticles: A facile synthesis, characterization and their photocatalytic activity. *Mater. Today Proc.* **28**, 710–712 (2019).
2. Rao, K., Ashok, C., Rao, K., Chakra, C. & Tambur, P. Green Synthesis of TiO₂ Nanoparticles Using Aloe Vera Extract. *Int. J. Adv. Res. Physic Sci.* **2**, 28–34 (2015).
3. Dobrucka, R. Synthesis of titanium dioxide nanoparticles using Echinacea purpurea herba. *Iran. J. Pharm. Res.* **16**, 753–759 (2017).
4. Bangera, M. K., Kotian, R. & N, R. Effect of titanium dioxide nanoparticle reinforcement on flexural strength of denture base resin: A systematic review and meta-analysis. *Jpn. Dent. Sci. Rev.* **56**, 68–76 (2020).
5. Hunagund, S. M. *et al.* Photocatalysis effect of a novel green synthesis gadolinium doped titanium dioxide nanoparticles on their biological activities. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* **346**, 159–167 (2017).
6. Sundarajan, M. & Gowri, S. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles by nectanthes arbor-tristis leaves extract. *Chalcogenide Lett.* **8**, 447–451 (2011).
7. Marimuthu, S. *et al.* Acaricidal activity of synthesized titanium dioxide nanoparticles using Calotropis gigantea against Rhipicephalus microplus and Haemaphysalis bispinosa. *Asian Pac. J. Trop. Med.* **6**, 682–688 (2013).
8. Saravanan, S., Balamurugan, M., Lippitz, A., Fonda, E. & Swaraj, S. XANES studies of titanium dioxide nanoparticles synthesized by using Peltophorum pterocarpum plant extract. *Phys. B Condens. Matter* **503**, 86–92 (2016).
9. Syahin Firdaus Aziz Zamri, M. & Sapawe, N. Effect of pH on Phenol Degradation Using Green Synthesized Titanium Dioxide Nanoparticles. *Mater. Today Proc.* **19**, 1321–1326 (2019).
10. Irshad, M. A. *et al.* Synthesis and characterization of titanium dioxide nanoparticles by chemical

- and green methods and their antifungal activities against wheat rust. *Chemosphere* **258**, 127352 (2020).
11. Peiró, A. M., Peral, J., Domingo, C., Domènech, X. & Ayllón, J. A. Low-temperature deposition of TiO₂ thin films with photocatalytic activity from colloidal anatase aqueous solutions. *Chem. Mater.* **13**, 2567–2573 (2001).
 12. Subhapiya, S. & Gomathipriya, P. Green synthesis of titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles by *Trigonella foenum-graecum* extract and its antimicrobial properties. *Microb. Pathog.* **116**, 215–220 (2018).
 13. Thakur, B. K., Kumar, A. & Kumar, D. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using *Azadirachta indica* leaf extract and evaluation of their antibacterial activity. *South African J. Bot.* **124**, 223–227 (2019).
 14. Abisharani, J. M., Devikala, S., Dinesh Kumar, R., Arthanareeswari, M. & Kamaraj, P. Green synthesis of TiO₂ nanoparticles using *Cucurbita pepo* seeds extract. *Mater. Today Proc.* **14**, 302–307 (2019).
 15. Shanavas, S. *et al.* Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using *Phyllanthus niruri* leaf extract and study on its structural, optical and morphological properties. *Mater. Today Proc.* (2019). doi:10.1016/j.matpr.2019.06.715
 16. Khade, G. V., Suwarnkar, M. B., Gavade, N. L. & Garadkar, K. M. Green synthesis of TiO₂ and its photocatalytic activity. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* **26**, 3309–3315 (2015).
 17. Ganesan, S. *et al.* Green engineering of titanium dioxide nanoparticles using *Ageratina altissima* (L.) King & H.E. Robines. medicinal plant aqueous leaf extracts for enhanced photocatalytic activity. *Ann. Phytomedicine An Int. J.* **5**, 69–75 (2016).
 18. Benzidia, B. *et al.* Chemical composition and antioxidant activity of tannins extract from green rind of *Aloe vera* (L.) Burm. F. *J. King Saud Univ. - Sci.* (2018). doi:10.1016/j.jksus.2018.05.022
 19. Bhattacharya, D. & Gupta, R. K. Nanotechnology and potential of microorganisms. *Crit. Rev. Biotechnol.* **25**, 199–204 (2005).
 20. Borase, H. P. *et al.* Plant extract: A promising biomatrix for ecofriendly, controlled synthesis of silver nanoparticles. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **173**, 1–29 (2014).
 21. Goutam, S. P. *et al.* Green synthesis of TiO₂ nanoparticles using leaf extract of *Jatropha curcas* L. for photocatalytic degradation of tannery wastewater. *Chem. Eng. J.* **336**, 386–396 (2018).
 22. Santhoshkumar, T. *et al.* Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using *Psidium guajava* extract and its antibacterial and antioxidant properties. *Asian Pac. J. Trop. Med.* **7**, 968–976 (2014).
 23. Sivaranjani, V. & Philominathan, P. Synthesize of Titanium dioxide nanoparticles using *Moringa oleifera* leaves and evaluation of wound healing activity. *Wound Med.* **12**, 1–5 (2016).
 24. Sundrarajan, M. *et al.* Obtaining titanium dioxide nanoparticles with spherical shape and antimicrobial properties using *M. citrifolia* leaves extract by hydrothermal method. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* **171**, 117–124 (2017).
 25. Velayutham, K. *et al.* Evaluation of *Catharanthus roseus* leaf extract-mediated biosynthesis of titanium dioxide nanoparticles against *Hippobosca maculata* and *Bovicola ovis*. *Parasitol. Res.* **111**, 2329–2337 (2012).
 26. Nasrollahzadeh, M. & Sajadi, S. M. Synthesis and characterization of titanium dioxide nanoparticles using *Euphorbia heteradena* Jaub root extract and evaluation of their stability. *Ceram. Int.* **41**, 14435–14439 (2015).
 27. Sankar, R., Rizwana, K., Shivashangari, K. S. & Ravikumar, V. Ultra-rapid photocatalytic activity of *Azadirachta indica* engineered colloidal titanium dioxide nanoparticles. *Appl. Nanosci.* **5**, 731–736 (2015).
 28. Al Qarni, F., Alomair, N. A. & Mohamed, H. H. Environment-friendly nanoporous titanium dioxide with enhanced photocatalytic activity. *Catalysts* **9**, (2019).
 29. Srinivasan, M. *et al.* Green synthesis and characterization of titanium dioxide nanoparticles (TiO₂ NPs) using *Sesbania grandiflora* and evaluation of toxicity in zebrafish embryos. *Process Biochem.* **80**, 197–202 (2019).
 30. Naresh Kumar Reddy, P. *et al.* Structural, optical and electrochemical properties of TiO₂ nanoparticles synthesized using medicinal plant leaf extract. *Ceram. Int.* **45**, 16251–16260 (2019).
 31. Sbihi, H. M., Nehdi, I. A., Mokbli, S., Romdhani-Younes, M. & Al-Resayes, S. I. Hexane and ethanol extracted seed oils and leaf essential compositions from two castor plant (*ricinus communis* L.) varieties. *Ind. Crops Prod.* **122**, 174–181 (2018).
 32. Scarpa, A. & Guerci, A. Various uses of the castor oil plant (*ricinus communis* L.) a review. *J. Ethnopharmacol.* **5**, 117–137 (1982).
 33. Ghosh, S. *et al.* Acaricidal properties of *ricinus communis* leaf extracts against organophosphate and pyrethroids resistant *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*. *Vet. Parasitol.* **192**, 259–267 (2013).
 34. Upasani, S. M., Kotkar, H. M., Mendki, P. S. & Maheshwari, V. L. Partial characterization and insecticidal properties of *ricinus communis* L. foliage flavonoids. *Pest Manag. Sci.* **59**, 1349–1354 (2003).
 35. Alugah, C. I. & Ibraheem, O. Whole plant screenings for flavonoids and tannins contents in Castor plant (*ricinus communis* L.) and evaluation of their biological activities. *Int. J. Herb. Med.* **2**, 68–76 (2014).
 36. Kang, S. S., Cordell, G. A., Soejarto, D. D. & Fong, H. H. S. Alkaloids and Flavonoids from *ricinus Communis*. *J. Nat. Prod.* **48**, 155–156 (1985).
 37. Kaur, R. & Bhaskar, T. *Potential of castor plant (ricinus communis) for production of biofuels, chemicals, and value-added products. Waste Biorefinery* (Elsevier B.V., 2020). doi:10.1016/b978-0-12-818228-4.00011-3
 38. Waris, M. *et al.* Evaluation of larvicidal efficacy of *ricinus communis* (Castor) and synthesized green

- silver nanoparticles against *Aedes aegypti* L. *Saudi J. Biol. Sci.* **27**, 2403–2409 (2020).
39. Atiku, F. A., Warra, A. A. & Enimola, M. R. FTIR spectroscopic analysis and fuel properties of wild castor (*ricinus communis* L.) seed oil. **1**, 6–9 (2014).
 40. Martins, A. E. *et al.* The reactive surface of Castor leaf [*ricinus communis* L.] powder as a green adsorbent for the removal of heavy metals from natural river water. *Appl. Surf. Sci.* **276**, 24–30 (2013).
 41. Hernández, L. G., Islas, D. A., Guerrero, M. U. F., Ortega, P. A. R. & Lechuga, L. G. Synthesis of Bimetallic Nanoparticles Urchin-Like with *ricinus Communis* Leaf Extract. *TMS 2015 144th Annu. Meet. Exhib.* 1113–1118 (2015). doi:10.1007/978-3-319-48127-2_135
 42. Rao, T. N. *et al.* Green synthesis and structural classification of *Acacia nilotica* mediated-silver doped titanium oxide (Ag/TiO₂) spherical nanoparticles: Assessment of its antimicrobial and anticancer activity. *Saudi J. Biol. Sci.* **26**, 1385–1391 (2019).
 43. Nabi, G. *et al.* Green synthesis of TiO₂ nanoparticles using lemon peel extract: their optical and photocatalytic properties. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **00**, 1–9 (2020).
 44. Ahmad, W., Jaiswal, K. K. & Soni, S. Green synthesis of titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles by using *Mentha arvensis* leaves extract and its antimicrobial properties. *Inorg. Nano-Metal Chem.* **50**, 1032–1038 (2020).
 45. Maurya, A., Chauhan, P., Mishra, A. & Pandey, A. K. Surface Functionalization of TiO₂ with Plant Extracts and their Combined Antimicrobial Activities Against *E. faecalis* and *E. Coli*. *J. Res. Updat. Polym. Sci.* 43–51 (2012). doi:10.6000/1929-5995.2012.01.01.6