

# Investigación e Innovación Universitaria en Ciencias e Ingeniería



COORDINACIÓN:  
Cuauhtémoc Vidrio Sahagún  
Flor Galaviz Lugo  
Mayra Vargas Espinoza



Universidad de Guadalajara

Primera Edición, 2018

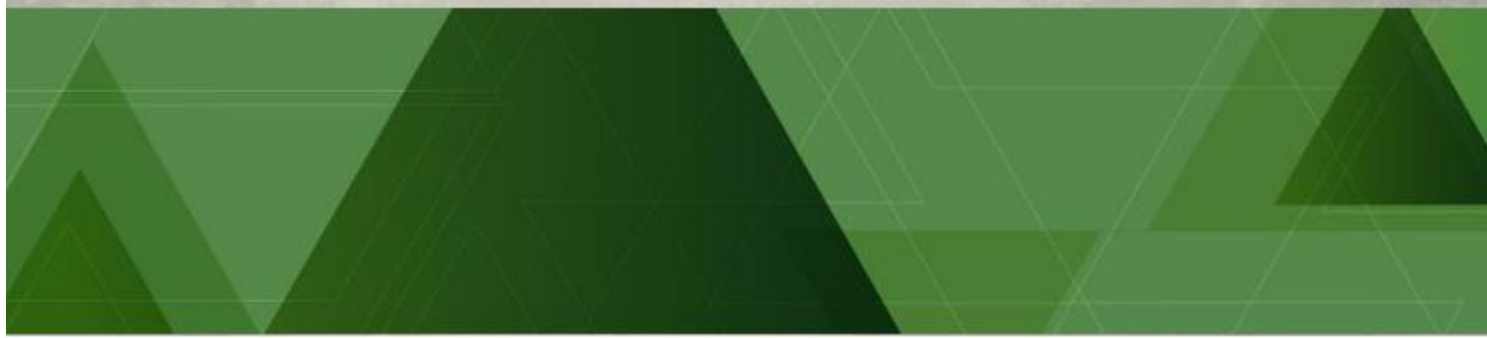
D.R. © 2018, Universidad de Guadalajara  
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías  
Blvd. Marcelino García Barragán núm. 1421, esq. Calzada Olímpica  
44430, Guadalajara, Jalisco

ISBN: 978-607-547-018-4

Hecho en México

Coordinadores: Cuauhtémoc Vidrio Sahagún, Flor Galaviz Lugo  
y Mayra Vargas Espinoza.

Guadalajara, Jalisco. México. Febrero de 2018.



# ÍNDICE

## Presentación

### CAPÍTULO 1 -Ciencias de la Salud-

-ADENOVIRUS 36 Y SU RELACIÓN CON LA OBESIDAD INFANTIL EN EL HOSPITAL GENERAL DE ZAPOTLÁN EL GRANDE, JALISCO.

*México/ José Enrique Vargas Espinoza*

-DAÑO AL ADN INDUCIDO POR EL MERCURIO LIBERADO POR AMALGAMAS DENTALES MEDIANTE EL CONTEO DE MICRÓNÚCLEOS Y ANORMALIDADES NUCLEARES EN CÉLULAS DE MUCOSA BUCAL DE PACIENTES ODONTOPEDIÁTRICOS

*México / Nalleli Guadalupe Macías Lamas, Ana Lourdes Zamora Pérez & Adriana Macuría Macías Lamas*

-NIVELES DE POLIAMINAS EN PLASMA DE RATONES CON L5178Y TRATADOS CON 5'-DESMETOXI-DESOXIPODOFILOTOXINA, DESOXIPODOFILOTOXINA Y ACETIL PODOFILOTOXINA AISLADAS DE BURSERA FAGAROIDES. *México / Fabiola Rodríguez Arévalo, Ana María Puebla Pérez & Jorge Iván Delgado Saucedo*

-SOCIO-PSYCHOLOGICAL ASPECT OF DECEIT.

*Ukraine Yelyzaveta Borodynia*

-PLANTS-SALICYLATES AS THE NATURAL SUBSTITUTES OF ACETYLSALICYLIC ACID IN THE PREVENTION OF THROMBOSIS.

*Ukraine Tetiana Novosolova & Yevheniia Dubrova*

### CAPÍTULO 2 -Ingeniería Biomédica-

-DESARROLLO DE ALGORITMO BASADO EN VISIÓN COMPUTACIONAL PARA LA CLASIFICACIÓN DE EDAD A PARTIR DE IMÁGENES FACIALES

*México / González-Sandoval Josué, Cervantes Ramirez Faviola Stephanye, Segovia Morales Adán & E. Gerardo Mendizabal-Ruiz*

### **CAPÍTULO 3 -Ingeniería Ambiental-**

- EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL DEL ECOSISTEMA FLUVIAL EN LAS COMUNIDADES DE LA MICROCUENCA EL CANGREJO, AUTLÁN, JALISCO.

*México / Enya Roseli Enríquez Brambila, José Abad Aispuro Chávez y Claudia Irene Ortiz Arrona*

-ANÁLISIS HIDRÁULICO Y JUSTIFICACIÓN DE USO DE LA BOMBA DE GOLPE DE ARIETE. *México / Ana Xóchitl Vidrio Sahagún*

-ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUERPOS DE AGUA PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO SUSTENTABLE. *México / Brenda Prisila Saucedo Rodríguez*

-DINO ECOTEC. *México / Eleonor Gómez Rebolledo*

### **CAPÍTULO 4 -Ingeniería Civil-**

-PROPUESTA DE ALGORITMO PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL (ALGETAB)

*México / José Jesús Baeza Bastiani, Carlos Rodríguez Jiménez & Luis Edgar López de la Cruz*

-MODELO SUSTENTABLE PARA EL DESARROLLO VIAL, MOVILIDAD VERDE, URBANISMO Y SOCIEDAD. *México / Cuauhtémoc Tonatiuh Vidrio Sahagún, Valeria Jocelyn Aranda salgado & Mayra Elizabeth Vargas Espinoza*

**-ESTABLECIMIENTO EN EL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA DE UNA RED GEODÉSICA DE ALTA PRECISIÓN LIGADA A LA RED GEODÉSICA NACIONAL.**

*México Adalberto Díaz Vera, Javier Alberto Merino Casas, Juan Adrián Álvarez Rosales & Miguel Eduardo Álvarez Noriega*

**-DISEÑO INNOVADOR DE COLECTOR PLUVIAL PARA MEJORAR EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.**

*México / Jaime Arturo Gutiérrez Calva, Mario Alcidez Trejo Acosta & Noemí Méndez de los Santos*

**-SELF-REGULATED SYSTEM OF PREVENTIVE RESETTING OF FLOOD WATERS.**

*Ukraine Maria krokis & Victor koldun*

#### **CAPÍTULO 5 -Ingeniería Industrial-**

**-APLICACIÓN DE LA LOGÍSTICA EN EL SERVICIO HOTELERO DE LA CIUDAD DE NEIVA. Colombia /Ana Lucia Paque Salazar**

**-DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SANGUINOLENTOS GENERADOS POR EL PROCESO DE EVISCERADO.**

*Colombia /Vanessa Catalina Bermeo Rodriguez, María Sthefanie Cleves Astudillo & Diego Fernando Suárez Cortés*

**-REESTRUCTURACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA HIPOTECARIA**

*México/ Jorge Alberto Pérez Ramírez, Roberto Carlos Chávez Ramírez*

#### **CAPÍTULO 6 -Ingeniería Química-**

**-CINÉTICA DE LA TRANSICIÓN DE MICELAS ESFÉRICAS A CILÍNDRICAS EN COPOLÍMERO TRIBLOQUE. México / G. Landa-zuri, M. F. Barragán, E. Barajas, E.**

*Torres, Y. Rharbi & J.F.A. Soltero*

**-PRODUCING OF THE SUPERHYDROPHOBIC CARBON SOOT FROM POLYETHYLENE WASTE AND ITS USAGE FOR THE PRODUCTION,**

*Kazakhstan Sultanbek Yermekov*

-SMART WINDOWS: NEW TEMPLATE SYNTHESIS OF THIN NICKEL HYDROXIDE FILM FOR ELECTROCHROMIC DEVICES.

*Ukraine Polina Kovalenko, Vadym Kovalenko & Valerii Kotok*

-INSTRUMENTAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF EPOXIDATION PROCESS THE WASTE OF NATURAL RUBBER (SCRAP).

*Ukraine D.O. Shapovalov, V.V. Fed & S.N. Zybalyo*

-ELECTROCHEMICAL DEPOSITION OF MULTILAYERED ELECTROCHROMIC THIN FILMS FOR SMART WINDOWS. *Ukraine & Russian Federation Kotok V.A, Kovalenko V. L. & Zemlianyi V. K*

-SMART WINDOWS: CATHION INSIDE AND ANION OUTSIDE ACTIVATION OF ELECTROCHROMIC FILM OF NICKEL HYDROXIDE. *Ukraine / Mikhail Baramsin, Vadym Kovalenko, Valerii Kotok & Polina Kovalenko*

## **CAPÍTULO 7 -Ciencias Químicas-**

-COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF Ni(II)-Ti (IV) LAYERED DOUBLE HYDROXIDES SYNTHESIZED BY DIFFERENT COPRECIPITATION TECHNIQUES

*Ukraine & Russian Federation Vitalii Solovov, Nikolai Nikolenko, Vadym Kovalenko & Valerii Kotok*

-AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES DE PIRIDINA A TRAVÉS DE LA TÉCNICA SERS CON UN SOPORTE SÍLICA-TITANIA-PLATA. *México / Héctor Andrés*

*Martínez Máñez & Dr. Simón Yobanny Reyes López.*

## **Amplificación de señales de piridina a través de la técnica SERS con un soporte Sílica-Titania-plata.**

**Héctor Andrés Martínez Máynez <sup>(1)</sup> y Dr. Simón Yobanny Reyes López <sup>(1)</sup>**

*<sup>(1)</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México*

### **Resumen**

En la actualidad la técnica de SERS continúa siendo un campo en desarrollo, enfocado principalmente al desarrollo de soportes para la detección de analitos en concentraciones traza. Por lo que se propone el desarrollo de un soporte cerámico a partir del acoplamiento de la técnica sol-gel a la técnica de electrohilado dopado con plata a través de un tratamiento electrolítico para ser evaluado como amplificador de señales. Mediante espectroscopia infrarroja fue posible seguir la evolución del proceso sol-gel dentro material donde se logró observar la transición de anatasa a rutilo de la titania a 800°C y la pérdida de grupos hidroxilos de la superficie entre los 500°C y 800°C. La presencia de las formas cristalinas (anatasa y rutilo) de la titania fue analizada mediante difracción de rayos X. Utilizando piridina como molécula de estudio a una concentración  $1 \times 10^{-9}$  se determinó que el soporte logro amplificar la señal de los modos de vibración 8a, 8b, y 15 fueron amplificados en 3 órdenes de magnitud con lo que se concluyó que el soporte Sílica-Titania-Plata cumple con el propósito de ser un soporte amplificador de señales en espectroscopia Raman

**Palabras Clave: Electrohilado, Sol-Gel, SERS.**

### **Abstract**

Nowadays the SERS area is still in development, mainly focused in the development of scaffolds for the detection of trace analytes. This work presents a new technique for the making of a ceramic scaffold by electrospinning. Through infrared spectroscopy it was possible to evaluate the thermal evolution of the sol-gel process. The Titania phase transformation was observed around 800°C and the hydroxyl group loss was detected between 500-800°C. The presence of two Titania phases, anatase and rutile were analyzed with DRX. Using Pyridine (1nM) as probe molecule the SERS effect of the scaffold was evaluated and it was determined that the vibration modes 8a, 8b, and 15 were the most amplified signals with a 3 orders of magnitude factor. With this it was concluded that the Sílica-Titania-Silver Scaffold is a feasible as a SERS enhancer.

**Keywords: Electrospinning, Sol-Gel, SERS.**

## **Amplificación de señales de piridina a través de la técnica SERS con un soporte Sílica-Titania-plata.**

### **Introducción**

A partir de la década de 1940 la industria farmacéutica ha experimentado un gran desarrollo acelerado por la constante demanda de medicamentos. La industrialización farmacéutica ha generado un aumento en la contaminación de efluentes a causa de los desechos liberados sin un tratamiento previo (Kumar *et al.*, 2004). Hoy en día existe la necesidad de monitorizar los residuos farmacéuticos; pues se ha demostrado que exposiciones prolongadas han generado bacterias multi-resistentes (Akmehmet y Otker, 2003). Para controlar la calidad de los efluentes farmacéuticos actualmente se utilizan sistemas de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Aga, 2007). Sin embargo HPLC es una técnica costosa que actualmente está siendo desplazada por técnicas espectroscópicas de menor costo como la espectroscopia Raman amplificada en superficie o SERS (Gajaraj *et al.*, 2013).

La espectroscopia Raman centra su estudio en el análisis de colisiones inelásticas de la radiación electromagnética con la materia y la polarización que se genera dentro de las moléculas, especialmente en moléculas simétricas (Larkin, 2011). A pesar de que la espectroscopia Raman es una técnica versátil posee limitantes ya que puede llegar a ocasionar fotodegradación de las muestras analizadas o la sensibilidad al ruido ambiental (Gajaraj *et al.*, 2013). Sin embargo, estas limitantes se han superado gracias al desarrollo de la técnica de espectroscopia Raman amplificada en superficie, descubierta en 1974 por Fleischmann y colaboradores al hacer pasar corriente sobre un cátodo de plata corroído sobre el que se analizaba piridina (Fleischmann *et al.*, 1978).

El principio de la amplificación SERS es utilizar la nube electrónica superficial de nanoestructuras metálicas un medio capaz de polarizarse y liberar energía para dar lugar al efecto de amplificación. Para explicar la amplificación generada por las nanoestructuras metálicas se ha propuesto dos teorías complementarias donde el analito recibe la energía dispersada del plasmón de resonancia superficial y una vez que sucede el efecto Raman la energía dispersada se reintegra al plasmón de resonancia superficial donde es amplificado (Moskovits, 1985). La segunda teoría propone que debe existir un enlace entre la superficie metálica y el analito para que ocurra la transferencia de energía del plasmón (Ordal *et al.*, 1982).

Sin embargo se ha demostrado experimentalmente que ambas teorías pueden suceder de manera simultánea por lo que la investigación se enfoca en el desarrollo de soportes dopados con nanoestructuras metálicas que permitan la detección de analitos con mayor sensibilidad (McNay *et al.*, 2011; Kneipp *et al.*, 1999). En la actualidad con la técnica de SERS se han logrado obtener factores de amplificación de hasta  $10^6$  por lo que se ha empezado a utilizar para la evaluación de analitos a nivel traza, secuenciación de ácidos nucleicos (Smith y Dent, 2005), análisis de proteínas y cuantificación en sistemas biológicos utilizando marcadores sensibles para la técnica de SERS (Kneipp *et al.*, 1999).

Este trabajo propone el desarrollo de un soporte para SERS base Silica-Titania dopado con plata para la detección de piridina en medio acuoso. Se ha elegido la piridina por su



estructura heterocíclica y que es utilizada como un precursor de importancia en la industria farmacéutica. Se propone que el soporte sea obtenido a través del acoplamiento de la técnica de sol-gel al proceso de electrohilado para posteriormente ser dopado a través de un tratamiento electrolítico.

### **Materiales y Métodos**

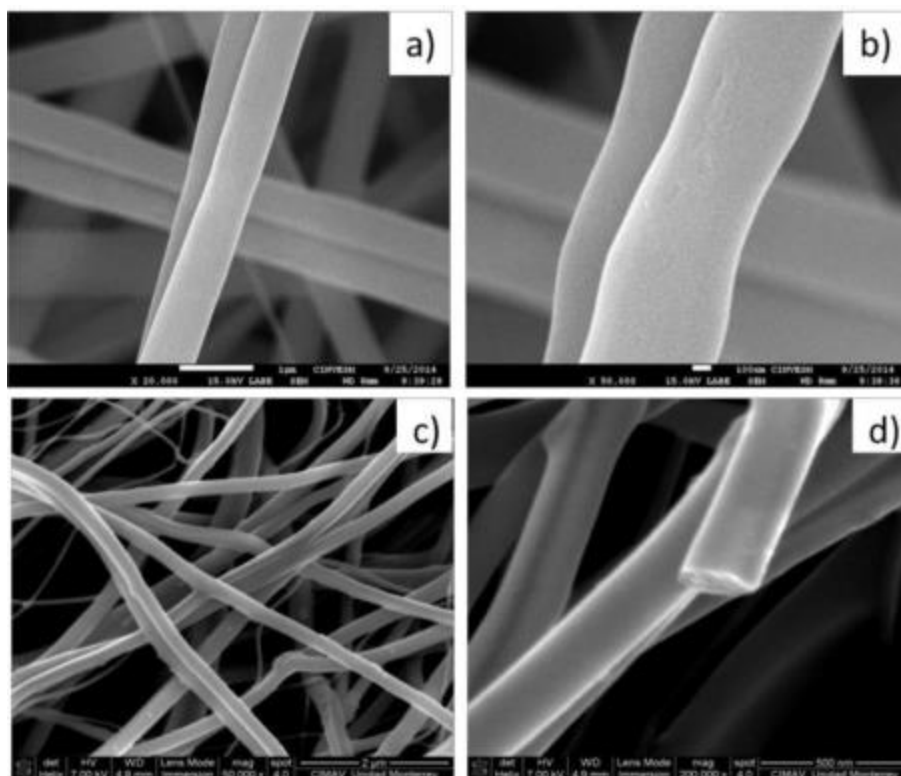
A partir de los precursores metalorgánicos Tetraetilortosilicato (TEOS) y Tetraisorpxido de titanio (TTIP) se obtuvieron los sol-geles precursores mezclando relaciones molares de alcóxido, solvente, agua y ácido catalizador en las siguientes proporciones: 1:2:2:0.1 (TEOS: Etanol: Agua; HCl) y 1:10.68:0:10.2 (TTIP: Etanol: Agua: Ácido acético). Cada solución fue mezclada en relación 1:10 P/P con una solución de polivinilpirrolidona (PVP) al 10% en etanol y mezcladas hasta alcanzar la homogeneidad. Posteriormente se realizó el electrohilado de las soluciones utilizando un inyector coaxial.

Las fibras electrohiladas fueron sometidas a un tratamiento térmico progresivo con etapas de calentamiento de 2 horas a 200°C, 500°C, 600°C y 800°C. La evolución térmica del material analizada mediante espectroscopia infrarroja y análisis termogravimétricos. La morfología de las fibras fue analizada mediante microscopia electrónica de barrido y la composición fue analizada mediante difracción de rayos X y mediante espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (EDS).

Las fibras calcinadas fueron fijadas a la superficie de un vidrio ITO y sometidas a 10 minutos de tratamiento en una celda electrolítica con un cátodo de plata pura y un medio 10mM de nitrato de plata en agua a 60°C. Posterior a la electrodeposición se depositaron 10µl de piridina 1nM y se dejó secar al aire para posteriormente ser sometida a la espectroscopia Raman. Las mediciones Raman se obtuvieron utilizando un láser de 532nm y un tiempo de integración de 10 segundos.

### **Resultados y discusión**

En la figura 1a y 1b se muestran las fibras obtenidas a través del proceso de electrohilado previo al tratamiento térmico, se puede observar que las fibras poseen diámetros diversos y no poseen irregularidades considerables en su morfología. En la figura 1c y 1d se muestra la fibra posterior al tratamiento térmico a 800°C con lo que se confirma que la morfología fibrilar se mantiene a pesar del tratamiento térmico. Además se observa una reducción de diámetro de las fibras relacionado directamente con la transición de fibras de composición principalmente polimérica (orgánico) a fibras totalmente cerámicas (inorgánico).



**Figura 1.-** Fibras obtenidas a través del proceso de electrohilado antes del tratamiento térmico (a y b) y después (c y d).

La evolución térmica del material fue seguida mediante análisis termogravimétricos (figura 2) y espectroscopia infrarroja (figura 3). El análisis termogravimétrico (figura 2a) muestra que el material presenta una pérdida inicial de peso alrededor de los 60°C correspondientes a la pérdida de isopropanol y agua del material. También se observa una segunda pérdida de peso equivalente al 60 % a los 450°C (segundo pico de inflexión) correspondiente al material orgánico presente el polímero utilizado y en los precursores metalorgánicos. A partir de 500°C hasta 1300°C se observa una pérdida de peso del 10% correspondiente a la pérdida de grupos hidroxilos de la superficie del material, que se encuentra relacionado con el proceso de densificación del material (Hench y West, 1990).

En la gráfica correspondiente a CDB (figura 2b) se puede observar que el material presenta un pico endotérmico en los rangos correspondientes a la pérdida de humedad y solventes a los 76°C, dos picos exotérmicos correspondientes a la descomposición inicial de los enlaces Metal-OH (135°C) (Liu *et al*, 2000) y a la transición vítrea del PVP a los 174°C (Feldstein *et al*, 2003). A 430°C se puede observar un pico endotérmico correspondiente a la degradación de la materia orgánica del PVP y las cadenas orgánicas de los precursores metalorgánicos que van de acuerdo a lo reportado previamente por Hench y West (1990).

En el análisis DSC del material también es posible observar otros dos picos exotérmicos entre los 500°C y 560°C que corresponden a la reducción de los grupos silanol (Si-OH) que aún se encuentran presentes en la superficie (Hench y West, 1990). A 700°C se puede observar un pico endotérmico correspondiente a la transición de fase entre la forma anatasa

y rutilo de la Titania (Chao, 2002). Seguido de un pico exotérmico a los 840°C correspondiente a la eliminación final de grupos hidroxilos de la red y la densificación de la red cerámica. Finalmente se observa un pico endotérmico a los 950°C, temperatura a la que se ha reportado la fusión de materiales a base de Sílica (Seco *et al*, 2000)

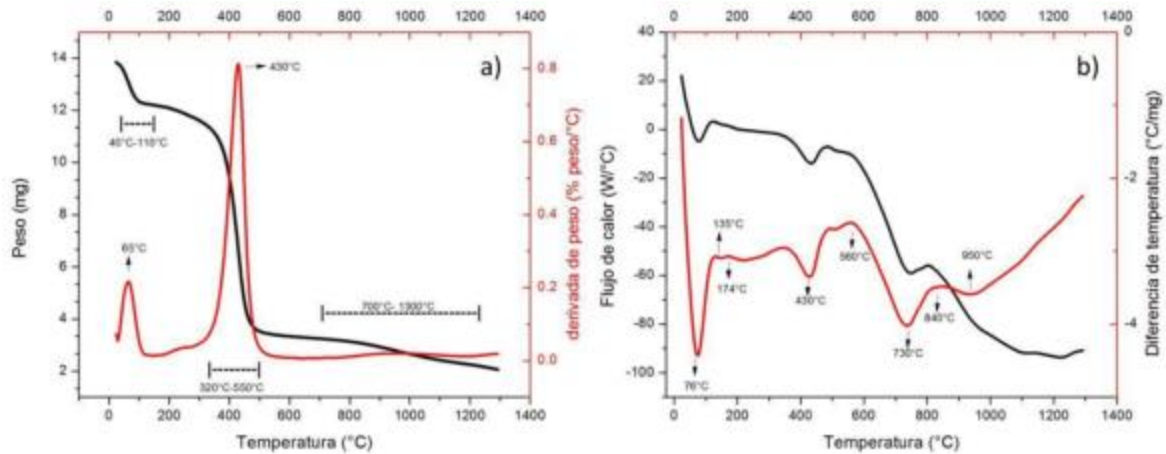


Figura 2.- Gráfica de análisis termogravimétrico y calorimetría diferencial de barrido (b).

En la figura 3a se muestra el espectro ampliado del compuesto desde 23°C hasta 500°C. El espectro infrarrojo muestra de manera inicial bandas correspondientes a las vibraciones del PVP como la presencia de vibraciones de estiramiento de grupos hidroxilo en  $3100\text{cm}^{-1}$ , seguido de la banda correspondiente al estiramiento del enlace C-H a  $2900\text{cm}^{-1}$  y  $1650\text{cm}^{-1}$ . Dentro de la zona de la huella dactilar podemos observar la presencia de la vibración de estiramiento del enlace C-O en los  $1655\text{cm}^{-1}$ . A los  $1441\text{cm}^{-1}$ ,  $1415\text{cm}^{-1}$  y  $1379\text{cm}^{-1}$  se puede observar bandas que se encuentran relacionadas con las vibraciones de tijereteo de los grupos metilo. Además se observan una banda correspondiente a la vibración del enlace C-N en  $1291\text{cm}^{-1}$  (Moharram y Khafagi, 2007). A 200°C se puede observar que en el espectro infrarrojo existe una disminución en la intensidad de la banda correspondiente a C-O y una desaparición casi total de las bandas correspondientes a C-H a causa de la descomposición inicial del polímero que ocurre a los 180°C (Du *et al*, 2006).

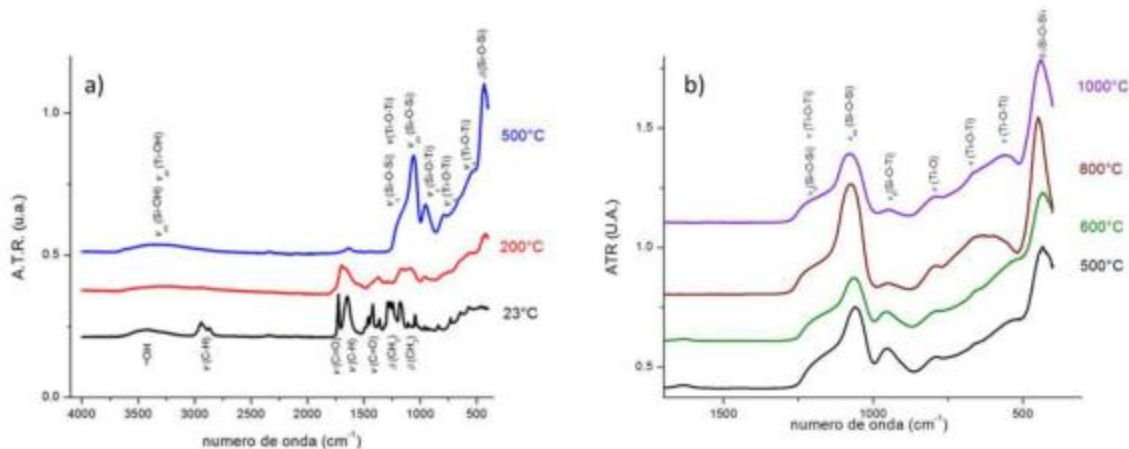
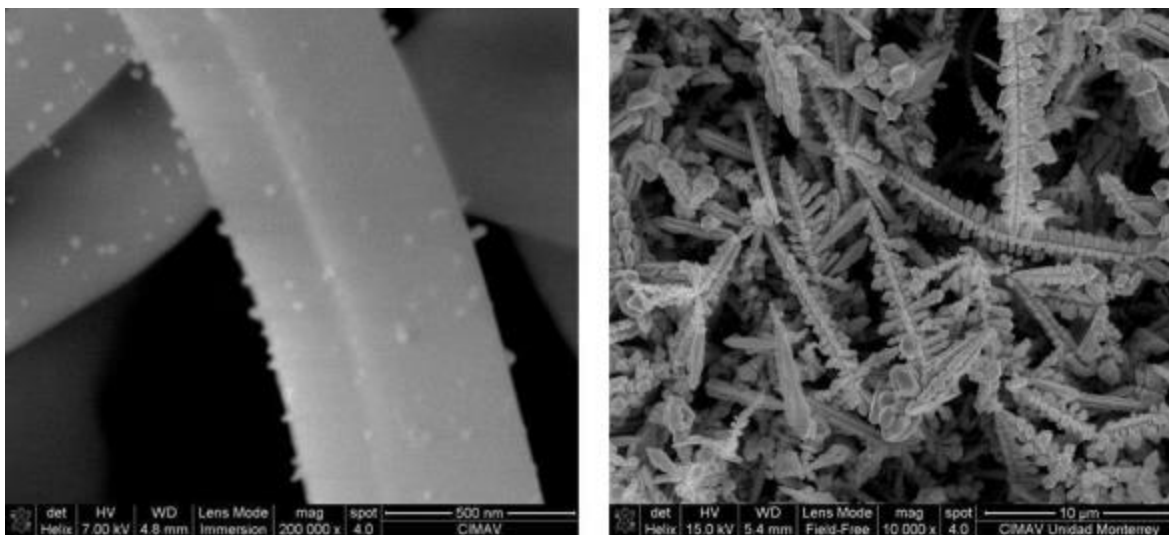


Figura 3.- Espectro infrarrojo del material a través del tratamiento térmico.

En la figura 3b se observa que a partir de los 500°C comienzan a emerger bandas características de la Sílica y Titania. A 500°C se observan las vibraciones de los enlaces Si-O que se presentan en sus modos de vibración de estiramiento simétrico ( $1220\text{cm}^{-1}$  y  $800\text{cm}^{-1}$ ), estiramiento asimétrico ( $1080\text{cm}^{-1}$ ) y Tijereteo ( $460\text{cm}^{-1}$ ) (Choi *et al*, 2004). La titania presenta vibraciones de los enlaces Ti-O ( $1080\text{ cm}^{-1}$  y  $880\text{ cm}^{-1}$ ), y distintas vibraciones de estiramiento simétrico del enlace Ti-O-Ti entre los  $410\text{cm}^{-1}$ - $760\text{cm}^{-1}$  sin embargo a 500°C (Leite *et al*, 2011). Durante el tratamiento térmico también es posible observar la formación de enlaces de tipo Si-O-Ti por la aparición su una banda a  $940\text{ cm}^{-1}$  (Seco *et al*, 2000).

Además a 500°C se presentan bandas de menor intensidad en  $3500\text{cm}^{-1}$  y  $950\text{ cm}^{-1}$  pertenecientes a vibraciones de los enlaces Si-OH y Ti-OH, las bandas se presentan similares a 600°C, Sin embargo, al alcanzar los 800°C existen dos cambios de importancia en el espectro infrarrojo, el primero de ellos es la desaparición de las bandas correspondientes a los enlaces Si-OH y Ti-OH en  $3500\text{ cm}^{-1}$  y  $950\text{ cm}^{-1}$  lo que indica que el material ha alcanzado la estabilidad química (Hench y West, 1990). Además se observa que las bandas correspondientes a Ti-O y Si-O en  $1080\text{cm}^{-1}$  son de mayor intensidad que en el resto de las temperaturas analizadas El aumento de intensidad de la banda en  $1080\text{cm}^{-1}$  se encuentra relacionado con la longitud de las cadenas de Si-O-Si o Ti-O-Ti (Choi *et al*, 2004).

En la figura 4 se muestra el soporte a través del tratamiento electrolítico para la deposición de plata. Después de 1 minuto de tratamiento se observó la deposición de nanopartículas con un diámetro promedio de 33nm, después de dos minutos se observó la aparición de estructuras aisladas de tipo dendritas, la densidad de las dendritas sobre las fibras aumento de manera continua con el tiempo de electrodeposición en la celda electrolítica hasta alcanzar una saturación casi total después de 10 minutos dentro de la celda.

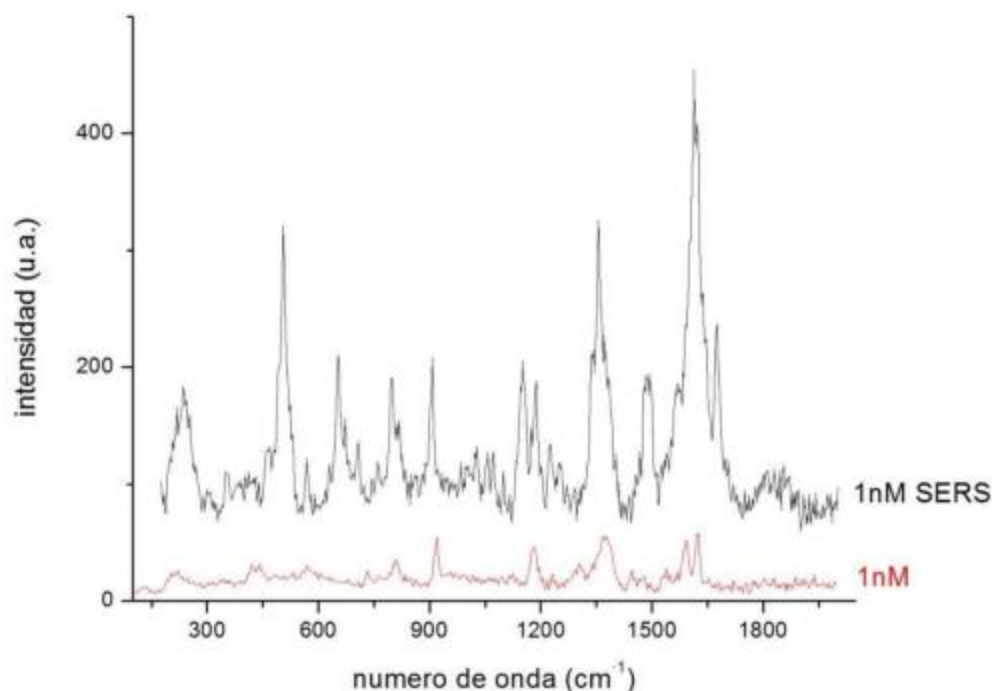


**Figura 4.-** Micrografías de MEB del soporte cerámico después de 1 minutos en la celda electrolítica (izq.) y 10 minutos (der.).

Finalmente el soporte dopado con dendritas de plata fue sometido a la prueba de amplificación es espectroscopia Raman utilizando piridina como molécula de estudio. En la figura 5 se muestra es espectro obtenido sobre el soporte fabricado y el espectro obtenido

sobre una laminilla de vidrio. Las vibraciones correspondientes a la piridina son estudiadas utilizando los modos normales de vibración del benceno por su similitud estructural, los modos de vibraciones se muestran en la Tabla 1 (Corrsin *et al*, 1953; Kline y Turkevich, 1944). En el espectro no amplificado es posible observar vibraciones a partir correspondientes a los modos de vibración *16a* en los  $419\text{cm}^{-1}$ , *10a* a  $730\text{cm}^{-1}$ , *18b* en  $1306\text{cm}^{-1}$ , *19b* y *19a* en los  $1446\text{cm}^{-1}$  y  $1478\text{cm}^{-1}$  respectivamente. Finalmente se identificaron los modos de vibración *8a* y *8b* a  $1593\text{cm}^{-1}$  y  $1625\text{cm}^{-1}$  (Kline y Turkevich, 1944).

En el espectro obtenido sobre el soporte Sílica-Titania dopado con plata se observa la presencia de un mayor número de bandas activas y de mayor intensidad a causa del efecto SERS del soporte. En el espectro Raman es posible apreciar la aparición de una banda de intensidad media a los  $244\text{cm}^{-1}$ ; la aparición de esta nueva vibración se encuentra relacionada a la distribución de la piridina sobre la superficie de las estructuras de plata y la interacción del par de electrones libres del nitrógeno con la superficie metálica de las estructuras (Bindhu *et al*, 2015).



**Figura 5.-** Espectro obtenido de la piridina 1nM el soporte SERS (espectro negro) y sin el soporte (espectro rojo).

En el espectro fue posible observar vibraciones correspondientes a los modos de vibración *16a* y *16b* a los  $356\text{cm}^{-1}$ , *6a* y *6b* en  $652\text{cm}^{-1}$  y el modo *10b* en  $708\text{cm}^{-1}$  y  $760\text{cm}^{-1}$ . Las vibraciones relacionadas con los modos *17a* y *17b* fueron observadas a  $984\text{cm}^{-1}$  y  $1072\text{cm}^{-1}$ ; la banda observada a  $1226\text{cm}^{-1}$  corresponde al modo de vibración *9* en sus modos *a* y *b* mientras que la banda a  $1493\text{cm}^{-1}$  corresponde al modo *19a* (Corsing *et al*, 1953).

Las bandas que presentaron mayor amplificación fueron las correspondientes al modo de vibración *8a* y *8b*, que se encuentran localizadas en  $1576\text{cm}^{-1}$ ,  $1620\text{cm}^{-1}$  y  $1674\text{cm}^{-1}$  (Kline y Turkevich, 1994). Sin embargo las bandas entre  $1600\text{cm}^{-1}$  y  $1700\text{cm}^{-1}$  también se encuentran relacionadas con el modo de vibración *14* (Corsing *et al*, 1953). Para el cálculo

del factor de amplificación se utiliza la ecuación 1 establecida por Bindhu y colaboradores (2015)

Ecu. 1

En la tabla 1 se muestran los valores de intensidad para cada banda detectada en el espectro SERS y la intensidad de su banda correspondiente en el espectro no amplificado con su respectivo cálculo de factor de amplificación

**Tabla 1.-** Cálculo de factor de amplificación para las bandas del espectro SERS.

Banda (cm <sup>-1</sup> )	Intensidad en SERS	Intensidad normal	Factor de amplificación	Banda (cm <sup>-1</sup> )	Intensidad en SERS	Intensidad normal	Factor de amplificación
1674	177	13	13.6	1150	115	11	10.4
1620	404	52	7.7	906	158	49	3.2
1576	131	45	2.9	708	82	20	4.1
1493	144	16	9	504	271	25	10.8
1357	275	50	5.5	569	71	25	2.8
795	140	30	4.6	1187	138	41	3.3

## Conclusiones

Mediante el acoplamiento de la técnica de sol-gel al proceso de electrohilado fue posible obtener fibras cerámicas homogéneas, compuestas de Sílica y Titania, con diámetros promedio de 228nm. Mediante espectroscopia infrarroja fue posible seguir la evolución del proceso sol-gel dentro material donde se logró observar la transición de anatasa a rutilo de la titania a 800°C y la pérdida de grupos hidroxilos de la superficie entre los 500°C y 800°C. La presencia de las formas cristalinas (anatasa y rutilo) de la titania fue analizada mediante difracción de rayos X. El soporte Sílica-Titania-plata fue sometido a pruebas de amplificación de señal en espectroscopia Raman, utilizando piridina como molécula de estudio en concentración 1nM, donde se determinó una capacidad de amplificación de 3 órdenes de magnitud en el caso del modo de vibración 8a, 8b y 15, mientras los modos de vibración 17b, 19b y 10b fueron amplificados en dos órdenes de magnitud. La presencia de bandas amplificadas confirma la generación exitosa de un soporte de Sílica-Titania-plata capaz de amplificar señales en espectroscopia

## Bibliografía

- Aga, D. (2007) *"Fate of pharmaceuticals in the environment and in water treatment systems"* CEC Press, Estados Unidos 408 pag.
- Bindhu, M.; Sathe, G.; Umadevi, M. (2015) "SERS activities of green synthesized silver nanoparticles" *Journal of cluster Science*, vol 26, núm 5, pág 1451-1461
- Chao, H.; Yun, Y.; Xingfang, H.; Larbot, A. (2002) "Effect of silver dopong on the phase transformation and grain growth of sol-gel titania powder"; *journal of European ceramic society*, vol 23, pág, 1257-126

- Choi, S.; Chu, B.; Lee, S.; Lee, S.; Soon, S.; Hun, S.; Kyo, J.** (2004), "Titania-doped silica fibers prepared by electrospinning and sol-gel process". *Journal of sol-gel science and technology*, núm 30, pág 215-221-
- Corsing, J.; Fax, B.; Lord, R.** (1953) "the vibrational spectra of pyridine and pyridined<sup>5</sup>" *J Chem. Phys*, vol 21, núm 7, pág 1170-1176
- Du, Y.; Yang, P.; Mou, Z.; Hua, N.; Jiang, L.** (2006) "Thermal decomposition behaviors of PVP coated on platinum nanoparticles" *Journal of applied polymer science*, vol 99, pág 23-26.
- Feldstein, M.; Ross, A.; Chevallier, C.; Creton, C.; Dormidontova, E.** (2003) "relation of glass transition temperature to the hydrogen bonding degree and energy in poly(N-vinyl pyrrolidone) blends with hydroxyl-containing plasticizers: 3. Analysis of two glass transition temperatures features for PVP solutions in liquid poly(ethylene glycol)" *polymer*, vol 44, pág 1819-1834.
- Fleischmann, M.; Hendra, J.; McQuillan, A.** (1974) "Raman spectra of pyridine adsorbed a silver electrode" *Chemical physics letters*, Vol 26, núm 2. Pág 163- 166
- Garjaraj, S.; Fan, C.; Lin, M.; Hu, Z.** (2013) "Quantitative detection of nitrate in water and wastewater by surface-enhanced Raman spectroscopy" *Environ monit asses* Núm 185, pág 5673-5681.
- Hench, L.; West, J.** (1990) "The Sol-Gel process" *Chemical Reviews*. vol 90, pág 33-72.
- Kline, C.; Turkevich, J.** (1944) "The vibrational spectrum of pyridine and the thermodynamic properties of pyridine vapors" *j. Chem. Phys.*, vol 12, núm 7, pág 300-309
- Kneipp, K.; Kneipp, H.; Itzkan, I.; Dasari, R.; Feld, M.** (1999) "Ultrasensitive chemical analysis by Raman spectroscopy", *Chem. Rev.* vol 99, pág 2957-2975.
- Kumar, S.; Kumar S; Hung Y.** (2004). "Treatment of pharmaceutical wastes". In *Handbook of industrial and hazardous waste treatment* (pag 63-131), USA, Marcel Dekker
- Larkin, P.** (2011) "infrared and raman spectroscopy; principles and spectral interpretation" *Elsevier*, 230 pag.
- Leite, D.; Conceicao, V.; Martins, E.; Soares, A.; Gasmaron, M.; Vasconcelos, W.** (2011) "Infrared Spectroscopy of titania Sol-Gel coating on 316L Stainless Steel" *Material Sciences and applications*, vol 2, pág 1375-1382.
- Liu, X.; Yang, J.; Wang, L.; Yang, X.; Lu, L.; Wang, X.** (2000) "An improvement on sol-gel method for preparing ultrafine and crystallized titania powder" *Materials science and engineering*, vol A289, pág 241-245.
- McNay ,G; Eustace, D; Smith W, Faulds, ; Graham, D.** (2011) "Surface-enhanced Raman Scattering (SERS) and surface-enhanced resonance raman scattering: A review of applications" *appl spectroscopy*, vol 65 No 8 pag 825-837
- Moharram, M.; Khafagi, M.** (2007) "application of FTIR spectroscopy for structural characterization of ternary poly(acrylic acid)-metal-poly(vinyl pyrrolidone) complexes" *journal of applied polymer science*, vol 105, pág 1888- 1893
- Moskovits, M.** (1985) "surface enhanced spectroscopy" *Reviews on modern physics*, vol 57 No 3 pag 783-826

**Ordal, M; Long, L; Bell, J; Bell, S; Bell, R; Alexander, W; Ward C.** (1982) "Optical properties of the metals Al, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Ni, Pd, Pt, Ag, Ti and W in the infrared and far infrared" *applied optics*, vol 22, núm 7, pág 1099-1120

**Seco, M.; Goncalves,C.; Almeida, R.** (2000) "Densification of Hybrid silica-titania sol-gel films studied by ellipsometry and FTIR" *Material science and engineering*, vol B76, pág. 193-199

**Smith, E; Dent, G** (2005) "Modern Raman spectroscopy-a practical approach" John Wiley & Sons, Reino Unido, 225 pág.

**Witten, T.; Sander, L.** (1981) "Diffusion-limited aggregation, a kinetic critical phenomenon" *Physical review letters*, vol 47, núm 19, pág 1400-1403