

FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS DE POLICAPROLACTONA-BIOVIDRIO

Ana Beatriz Martínez Valencia¹, Luis Ernesto Ceja Martínez²,
Gerorgina Carbajal De la Torre³, Marco Antonio Espinosa Medina⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 03/09/2019 Aceptado: 23/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- Actualmente, existe un gran interés en el desarrollo de materiales biodegradables y biocompatibles adecuados para una variedad de aplicaciones biomédicas. En este sentido, los biomateriales de polímero/cerámico han sido considerados como de potencial aplicación. Algunas de los cerámicos más prometedores son la hidroxiapatita, los fosfatos de calcio y los vidrios bioactivos de silicato. Los vidrios bioactivos son materiales a base de silicato amorfo, los cuales se unen al hueso y pueden estimular el crecimiento de nuevo hueso mientras se disuelven con el tiempo. En este trabajo, se prepararon nuevos compuestos Policaprolactona/biovidrio (PCL/G5). El biovidrio fue sintetizado por la técnica sol-gel y luego mezclado con policaprolactona. Se descubrió que el polímero solo soporta hasta 30% en peso de biovidrio. La morfología y las propiedades de los compuestos se investigaron mediante difracción de rayos X (DRX), espectroscopía de infrarrojo (FT-IR) y microscopía electrónica de barrido (SEM).

Palabras clave: Policaprolactona, biovidrio, compuesto.

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF POLYCAPROLACTONE/BIOGLASS COMPOSITES

Abstract.- Currently, there is a great interest on the development of biodegradable and biocompatible materials suitable for a variety of biomedical applications. In this sense, polymer/ceramic biomaterials have been considered as potential application as these. Some of the most promising ceramic are hydroxyapatite, calcium phosphates, and bioactive silicate glasses. Bioactive glasses are amorphous silicate-based materials which bond to bone and can stimulate new bone growth while dissolving over time. In this work, novel composite polycaprolactone/bioglass (PCL/G5) were prepared. Bioglass were synthesized by the sol-gel technique and then mixed with polycaprolactone. It was found that the polymer was possible to load up to 30 wt % bioglass. The morphology and compositional properties of the composites was investigated by X-Ray Diffraction (DRX), Fourier transformed infrared spectroscopy (FT-IR), and Scanning Electron Microscopy (SEM) characterization.

Keywords: Polycaprolactone, bioglass, composite.

Introducción

El área de la ingeniería de tejidos y de medicina regenerativa han ganado gran importancia en la última década y han avanzado considerablemente prometiendo regenerar la mayoría de los tejidos y órganos del cuerpo humano. El principal concepto de ingeniería de tejidos se refiere al desarrollo de dispositivos para regenerar tejidos dañados mediante la combinación de una matriz (andamio, células y agentes biológicos activos). Los andamios son usados en ingeniería de tejidos como un soporte físico y biológico de las células, es decir, para retener, proliferar y diferenciar, transportar las células y factores de crecimiento como nutrientes celulares y el oxígeno, y permiten el establecimiento de un apropiado medio ambiente para la regeneración de tejido de una manera organizada al ser trasplantados dentro de un organismo [1-3].

Los materiales desarrollados para ingeniería de tejidos han ido evolucionando. Durante los años 60's y 70's surge la primera generación de biomateriales cuyo objetivo era desarrollar materiales con propiedades físicas que se adaptaran lo mejor posible a los tejidos dañados evitando rechazo o infecciones en el paciente. Estos materiales se consideraron

¹ Ana B. Martínez Valencia. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. anitvalencia@gmail.com (Autor correspondiente).

² Luis E. Ceja Martínez. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³ Georgina Carbajal De la Torre. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

⁴ Marco A. Espinosa Medina. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

“casi inertes”. Sin embargo, su principal desventaja era que después de ser implantados son encapsulados por tejido fibroso evitando la integración entre el material y el tejido dañado [2].

En los años 80's surge la segunda generación de biomateriales. Entre sus objetivos estaba obtener componentes bioactivos y bioabsorbibles para controlar la acción y reacción en el medio fisiológico. Durante esta generación se desarrolló una variedad de vidrios bioactivos, cerámicas y materiales compuestos para uso clínico. Entre los componentes bioactivos más comunes están la hidroxiapatita sintética y el biovidrio ampliamente utilizados en andamios, recubrimientos o polvos para aplicaciones médicas [2].

Actualmente nos encontramos en la tercera generación de biomateriales y el objetivo es desarrollar materiales que estimulen respuestas celulares específicas a nivel molecular mediante la combinación de la bioactividad y la bioabsorbibilidad de forma controlada. Los materiales mayormente utilizados en esta generación son polímeros biodegradables de origen natural o sintético como poli(α -hidroxiesteres), colágeno, ácido hialurónico, quitosano, soya, etc; cerámicos como vidrios de silicato, cerámicos-vidriosos, alúmina, zirconia, hidroxiapatita y otros fosfatos de calcio; metales como el titano, acero inoxidable y aleaciones como Cr-Co, etc., además de una gran variedad de compositos, por ejemplo: ácido hialurónico/colágeno, biovidrio/hidroxiapatita, ácido poliláctico/ácido poliglicólico, zirconia/biovidrio, ácido poliláctico/policaprolactona, ácido poliláctico/hidroxiapatita, poliuretano/ácido poliláctico, hidroxiapatita/alúmina, entre otros [4-33]. Todos ellos con la finalidad de obtener materiales con morfologías diferentes con macro y nano estructuras buscando optimizar sus propiedades.

La policaprolactona (PCL) es extensamente usada para producir andamios para aplicaciones en ingeniería de tejidos debido a su biocompatibilidad, biodegradabilidad, estabilidad estructural y propiedades mecánicas. Sin embargo, esta presenta baja bioactividad y alta hidrofobicidad, reduciendo la afinidad celular y rangos bajos para la regeneración de tejido [8,16-33].

Por otro lado, los materiales cerámicos también pueden tener diversas aplicaciones en ingeniería de tejidos, en especial en la regeneración de tejido óseo debido a las propiedades estructurales que poseen las cuales son muy parecidas a la fase mineral que posee el hueso.

Los biovidrios se caracterizan por ser sólidos amorfos cuando poseen un desorden estructural muy elevado, o bien como líquidos cuando poseen una viscosidad muy elevada. El desarrollo y utilización de biovidrios en ingeniería de tejidos, en especial en aplicaciones para regeneración ósea, se han realizado durante los últimos 45 años a partir de que Hench y col., en 1971 desarrollaran el biovidrio 45S5. Los vidrios se dividen en dos grandes grupos los de base silicio y los de base fosfato. Los vidrios del primer grupo, como ya se mencionó anteriormente fueron desarrollados por Hench y sus col., quienes descubrieron que determinadas características de los vidrios eran biocompatibles, es decir, permitían generar una unión entre los huesos y los vidrios implantados. Por otro lado, los vidrios de fosfato de calcio se caracterizan porque la variación en su composición química permite modificar su velocidad de degradación, además de poseer propiedades osteoconductoras bajo determinadas condiciones, que en diversos estudios han permitido la adhesión, proliferación y diferenciación de células mesenquimales y osteoblastos [34].

Para mejorar las propiedades de estos tres materiales biocompatibles, en esta investigación se propuso combinar PCL, la cual permite controlar la velocidad de degradación del composito, mientras que el biovidrio le confiere mejores propiedades de bioactividad al composito, además de mejorar las propiedades mecánicas.

Metodología: materiales y métodos

-Síntesis de Biovidrio (G5).

Para la síntesis de biovidrio, los precursores utilizados fueron tetraetil ortosilicato (TEOS), nitrato de calcio y trietilfosfato (TEP), con la composición adecuada para obtener una composición teórica aproximada de 55% en peso de SiO₂, 36.5% de CaO y 8.5% de P₂O₅ (G5). Un gel se forma luego de reacciones de hidrólisis y condensación, el cual es calcinado a temperaturas entre 600 y 700 °C para estabilizar el biovidrio.

-Policaprolactona (PCL). Se utilizó la PCL comercial de Sigma Aldrich con peso molecular de 80,000.

-Preparación del Composito (PCL-G5).

El composito PCL-G5 fue preparado con 70% en peso de PCL y 30% en peso de G5, utilizando tetrahidrofurano (THF) como solvente. El procedimiento para la preparación de los compositos fue el siguiente: en unos mililitros de tetrahidrofurano (THF) se dispersó primero el G5 mediante ultrasonido, posteriormente agitando mecánicamente se agregó la PCL, se dejó agitar durante dos horas y al final se dio agitación mediante ultrasonido por unos minutos más.

La mezcla anterior se vacía en moldes para obtener la morfología de probetas deseada. Se dejó secar a temperatura ambiente y posteriormente dentro de un horno a 35°C para eliminar totalmente el solvente. Cuando está completamente seco, se desmolda cuidadosamente (Figura 1).



Figura 1. Probetas de compuesto policaprolactona/biovidrio.

-Caracterización por Difracción de Rayos X (DRX)

El estado cristalino y la identificación de las fases de cada uno de los materiales puros y los composites fueron verificados por DRX mediante un difractómetro de polvos Bruker D8 Advance a un ángulo de 10 a 60° y una velocidad de 0.02 grados/s, usando radiación K α Cu.

-Espectroscopia de Infrarrojo (FT-IR)

El estudio por FT-IR fue realizado para identificar los grupos funcionales correspondientes en los composites. Este análisis fue realizado mediante un espectrómetro Bruker-Tensor 27 en un rango de 4000 a 400 cm⁻¹ a una resolución de 1cm⁻¹, preparando discos mezclando 0.3 g de KBr y 0.003 g de muestra y prensando con una carga de 4 toneladas durante un minuto.

-Microscopia electrónica de Barrido (MEB)

El estudio de la morfología superficial, homogeneidad del biovidrio y del compuesto fue realizado mediante un microscopio electrónico de barrido SEM-JEOL 6400. Las muestras fueron previamente metalizadas con Cu para su análisis, utilizando un detector de electrones secundarios y un voltaje de aceleración de 15 kV.

Resultados

Difracción de Rayos X (DRX)

Los patrones de Difracción de rayos X del G5 y PCL se presentan en la Figura 2. Los picos fueron indexados de acuerdo a la carta correspondiente, observándose los picos principales de los materiales.

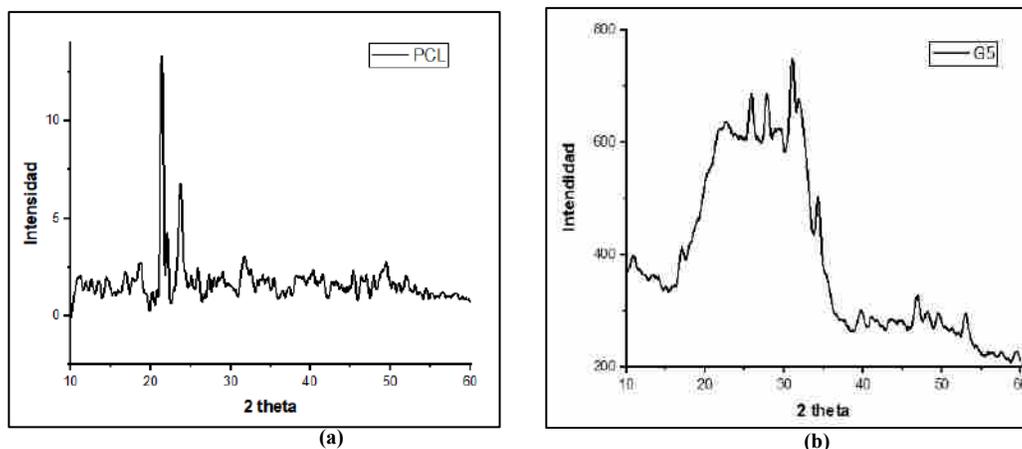


Figura 2. (a) Difractograma de Rayos X de policaprolactona (b) Difractograma de Rayos X de biovidrio.

Espectroscopia de Infrarrojo

Mediante espectroscopia de infrarrojo se determinaron las moléculas y tipos de enlaces formados por el G5 así como de los compositos. En la Figura 3 se muestran los espectros de infrarrojo de los polvos de G5.

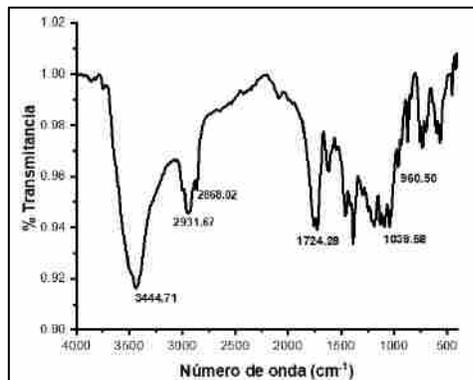


Figura 3. Espectros FT-IR del composito policaprolactona-biovidrio.

Microscopia electrónica de Barrido (MEB)

En la Figura 4 se presentan las micrografías de los polvos de G5, antes de fabricar el composito, en ésta, se observaron aglomerados esféricos con tamaños menores a 500 nanómetros, los cuales conforman a su vez aglomerados de menores tamaños. Además, se presentan los resultados del microanálisis por EDS en los que se observa la presencia de Si, Ca y P del G5.

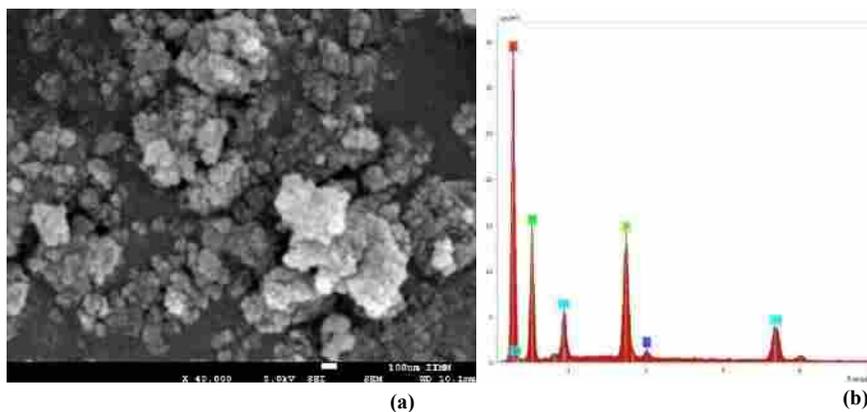


Figura 4. Micrografía y EDS de los polvos de G5.

La Figura 5 presenta la morfología de superficie del composito. En el composito G5 permite examinar la distribución del G5 en los compositos. Todas las muestras presentan buena homogeneidad de las partículas dentro de los compositos sin visibles áreas de aglomeración.

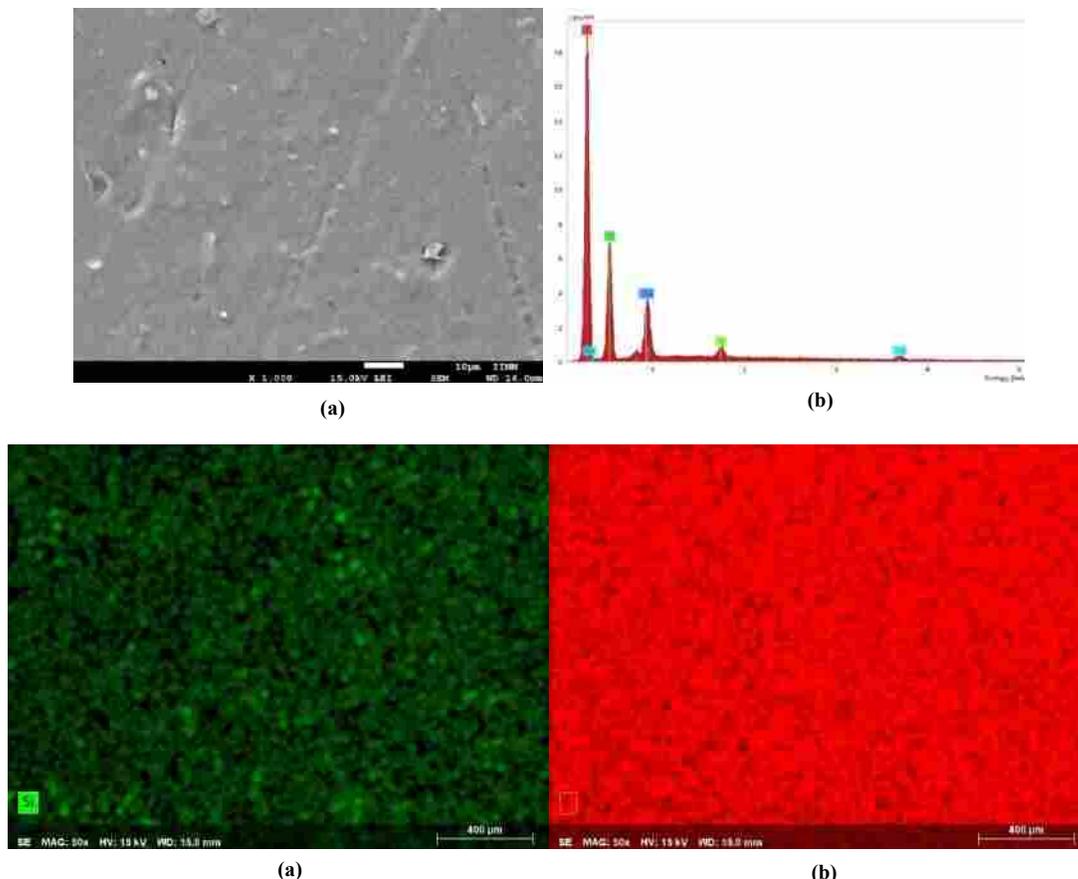


Figura 5. Fotomicrografías de la superficie del compuesto con un 30% de G5 (a); análisis EDS para el compuesto G5; mapeo correspondiente al elemento silicio en el compuesto G5 (c); mapeo correspondiente al elemento silicio en el compuesto G5 (d).

Discusión

Los resultados de DRX muestran picos bien definidos a 22° y 24° para la PCL y una estructura relativamente amorfa para el biovidrio, es decir, se observa una cristalización parcial de silicato de calcio (Ca_2SiO_4), misma que se puede observar en el pico a 32° . Lo anterior pudo llevarse a cabo durante el proceso de calcinación al elevarse la temperatura hasta 800°C .

En el caso del análisis por infrarrojo se puede observar las bandas características a 2931.67cm^{-1} y 2868.02cm^{-1} referentes a los grupos C-H presentes en la PCL y las bandas a 1039.58cm^{-1} y 960.50cm^{-1} asignada a los grupos P-O características del biovidrio. Además, una banda a 3444.71cm^{-1} atribuida al agua absorbida por el G5.

En las fotomicrografías se puede observar una superficie homogénea, lo que se corroboró mediante la realización de un mapeo de los elementos presentes en el compuesto, confirmando que los polvos de G5 fueron uniformemente dispersados en la matriz del polímero. Sin embargo, esto no sucedió para otras composiciones mayores al 30% de G5.

Conclusiones

Polvos de biovidrio fueron exitosamente fabricados mediante un método de sol-gel; los polvos nanocristalinos, se presentaron como aglomerados submicrométricos de composición homogénea. Los materiales compósitos PCL-G5 con incorporación de biovidrio con concentraciones de 70 y 30 % en peso, fueron exitosamente fabricados. El G5 en un porcentaje de 30% en peso, fue homogéneamente dispersado en la matriz polimérica debido a su alta área superficial y por lo tanto mayor interacción matriz-refuerzo. Otros compósitos con mayor porcentaje de G5 tuvieron mayor grado de aglomeración.

Agradecimientos: Se agradece al Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior, PRODEP, por el apoyo recibido para la realización de este proyecto (UMSNH-PTC-398).

Bibliografía.

- [1] Boccaccini, R., Gough, J. E. (2007). Tissue engineering using ceramics and polymers, Woodhead Publishing Limited, 78-87.
- [2] Ramakrishna, S., Mayer, S., Wintermantel, E., Leong, K. W. (2001). Biomedical applications of polymer-composite materials: a review, *Compos. Sci. Thech.*, 61,1189-1224.
- [3] Xie, H., Wang, J., Li, C., Gud, Z., Chena, Q., Li, L. (2013). Application of strontium doped calcium polyphosphate bioceramic as scaffolds for bone tissue engineering, *Ceram. Inter.*, 39, 8945–8954.
- [4] Boissard, C.I.R., Bourban, P.E., Tami, A. E., Alini, M., Eglin, D. (2009). Nanohydroxyapatite/poly(ester urethane) scaffold for bone tissue engineering, *Acta Biomater.*, 5, 3316–3327.
- [5] Laschke, M.W., Strohe, A., Menger, M.D., Alini, M., Eglin, D. (2010). In vitro and in vivo evaluation of a novel nanosize hydroxyapatite particles/poly(ester-urethane) composite scaffold for bone tissue engineering, *Acta Biomater.* 6, 2020–2027.
- [6] Liu, X., Smith, L.A., Hu, J., Ma, P.X. (2009). Biomimetic nanofibrous gelatin/apatite composite scaffolds for bone tissue engineering, *Biomater.* 30, 2252–2258.
- [7] Ren, J., Zhao, P., Ren, T., Gu, S., Pan, K. (2007). Poly (D,L-lactide)/nano-hydroxyapatite composite scaffolds for bone tissue engineering and biocompatibility evaluation, *J. Mater. Sci: Mater. Med.*, 1-8.
- [8] Patricio, T., Domingos, M., Gloria, A., Bartolo, P. (2013). Characterisation of PCL and PCL/PLA scaffolds for tissue Engineering, *Procedia CIRP.*, 5, 110–114.
- [9] Martínez-Valencia, A.B., Carbajal-De la Torre, G., Duarte-Moller, A., Espinosa-Medina, M.A., Esparza-Ponce, H.E. (2011). Study of bioactivity, biodegradability and mechanical properties of polyurethane/nano-hydroxyapatite hybrid composites. *Inter. J. Phy. Sci.*, 6, 6681-6691.
- [10] Martínez-Valencia, A.B., Carbajal-De la Torre, G., Torres-Sánchez, R, Téllez-Jurado, T., Esparza-Ponce, H.E. Production of polyurethane/nano-hydroxyapatite hybrid materials and microstructural characterization. *Inter. J. Phy. Sci.*, 6, 2731-2743.
- [11] Viswanath, B., Ravishankar, N. (2006). Interfacial reactions in hydroxyapatite/alumina nanocomposites, *Scripta Materialia*, 55, 863-866.
- [12] Jayabalan, M., Shalumon, K.T., Mitha, M.K., Ganesan, K., Eppe, M. (2010). Effect of hydroxyapatite on the biodegradation and biomechanical stability of polyester nanocomposites for orthopedic applications. *Acta Biomater.* 6, 763–775.
- [13] Thein-Han, W.W., Shah, J., Misra, R. D. K. (2009), Superior in vitro biological response and mechanical properties of an implantable nanostructured biomaterial: nanohydroxyapatite/silicone rubber composite, *Acta Biomater.* 5, 2668–2679.
- [14] Fang, L., Leng, Y., Gao, P. (2005). Processing of HA reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene for biomedical applications, *Biomater.*, 26, 3471-3478.
- [15] Doi, Y., Horiguchi, T., Moriwaki, Y., Kitago, H., Kajimoto, T., Iwayana, Y. (1996). Formation of apatite-collagen complexes. *J. Biomed. Mater. Res.*, 31, 43-49.
- [16] Patrício, T., Bártolo, P. (2013). Thermal stability of PCL/PLA blends produced by physical blending process, *Proced. Eng.*, 59, 292–297.
- [17] Liang, J.Z., Duan, D.R., Tang, C.Y., Tsui, C.P., Chen, D.Z. (2013). Tensile properties of PLLA/PCL composites filled with nanometer calcium carbonate. *Polym. Testing.*, 32, 617–621.
- [18] Fukushima, K., Feijoo, J.L., Yang, M.C., (2013). Comparison of abiotic and biotic degradation of PDLLA, PCL and partially miscible PDLLA/PCL blend, *Eur. Polym. J.*, 49, 706–717.
- [19] Takayama, T., Todo, M., Tsuji, H. (2011). Effect of annealing on the mechanical properties of PLA/PCL and PLA/PCL/LTI polymer blends. *J. Mech. Biomed. Mater.* 4, 255–260.
- [20] Gaona, L.A., Gómez-Ribelles, J.L., Perilla, J.E., Lebourg, M. (2012). Hydrolytic degradation of PLLA/PCL microporous membranes prepared by freeze Extraction. *Polym. Degradation and Stability* 97, 1621-1632.
- [21] Vieira, A.C., Vieira, J.C., Ferra, J.M., Magalhães, F.D., Guedes, R.M., Marques, A.T. (2011). Mechanical study of PLA–PCL fibers during in vitro Degradation. *J. Mech. Biomed. Mater.*, 4, 451–460.
- [22] Fukushima, K., Tabuani, D., Camino, G. (2009). Nanocomposites of PLA and PCL based on montmorillonite and sepiolite. *Mater. Sci. Eng. C.*, 29, 1433–1441.
- [23] Tanodekaew, S., Channasanon, S., Kaewkong, P., Uppanan, P. (2013). PLA-HA scaffolds: preparation and bioactivity, *Procedia Eng.*, 59, 144–149.

- [24] Raquez, J.M., Habibi, Y., Murariu, M., Dubois, P. (2013). Polylactide (PLA)-based nanocomposites, *Prog. Poly. Sci.*, 38, 1504–1542.
- [25] Peponi, I., Navarro-Baena, I., Sonseca, A., Gimenez, E., Marcos-Fernandez, A., Kenny, J.M. (2013) Synthesis and characterization of PCL–PLLA polyurethane with shape memory behavior. *Eur. Polym. J.*, 49, 893–903.
- [26] Wang, Y., Liu, L., Guo, S., (2010). Characterization of biodegradable and cytocompatible nano-hydroxyapatite/polycaprolactone porous scaffolds in degradation in vitro. *Polym Degrad. Stab.*, 95, 207-213.
- [27] Panadero, J.A., Vikingsson, L., Gomez-Ribelles, J.L., Sencadas, V., Lanceros-Mendez, S. (2013). Fatigue prediction in fibrin poly- ϵ -caprolactone macroporous scaffolds. *J. Mech. of Biomedical Mater.*, 28, 55–61.
- [28] Wang, Y., Dai, J., Zhang, Q., Xiao, Y., Lang, M. (2010). Improved mechanical properties of hydroxyapatite/poly(ϵ -caprolactone) scaffolds by surface modification of hydroxyapatite. *Appl. Surf. Sci.*, 256, 6107–6112.
- [29] Rezaei, A. Mohammadi, M.R. (2013). In vitro study of hydroxyapatite/polycaprolactone (HA/PCL) nanocomposite synthesized by an in situ sol–gel process. *Mater. Sci. Eng. C.*, 33, 390–396.
- [30] Milovac, D., Ferrer, G.G., Ivankovic, M., Ivankovic, H. (2014). PCL-coated hydroxyapatite scaffold derived from cuttlefish bone: Morphology, mechanical properties and bioactivity. *Mater. Sci. and Eng. C.*, 34, 437–445.
- [31] Alexander, A., Ajazuddin, Khan, J., Saraf, S. (2013). Poly(ethylene glycol)–poly(lactic-co-glycolic acid) based thermosensitive injectable hydrogels for biomedical applications. *J. of Controlled Release* 172, 715–729.
- [32] Roohani-Esfahani, S.I., Nouri-Khorasani, S., Lu, Z., Appleyard, R., Zreiqat, H. (2010). The influence hydroxyapatite nanoparticle shape and size on the properties of biphasic calcium phosphate scaffolds coated with hydroxyapatite PCL composites. *Biomater.*, 31, 5498-5509.
- [33] Liao, G., Jiang, S., Xu, X., Ke, Y. (2012). Electrospun aligned PLLA/PCL/HA composite fibrous membranes and their in vitro degradation behaviors. *Mater. Lett.* 82, 159–162.
- [34] Blaker, J.J., Rezwan, K., Chen, Q.Z., Boccaccini, A.R. (2006). Biodegradable and bioactive porous polymer/inorganic composite scaffolds for bone tissue engineering. *Biomaterials*, 18, 3413–3431.

CONFERENCISTAS MAGISTRALES DEL II CONGRESO DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE



M.C. Miguel Ángel Guerra Cossío

Ingeniero Civil, Maestro en Ciencias con Orientación en Materiales de Construcción, actualmente cursando el Doctorado en Ingeniería con Orientación en Materiales de Construcción. Ha participado como ponente en distintos congresos internacionales (como el International Materials Research Congress en Cancún, México 2015 y el International Conference on Bio-Based Building Materials en Clermont-Ferrand, Francia 2017). Cuenta con publicaciones en revistas indexadas enfocadas en investigación de cementantes alternativos. Colabora activamente con el Cuerpo Académico de Materiales Alternativos en Ingeniería en el Instituto de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León.



Dr. Ing. Andrés Antonio Torres Acosta

Es Ingeniero Civil de profesión y arquitecto de corazón. Su preparación profesional la realizó en la Universidad Autónoma de Yucatán, y sus estudios de Postgrado en la Universidad del Sur de la Florida, en Tampa, Florida, USA. Actualmente trabaja en industria, es Gerente de Ingeniería y Consultoría en SATELSA SA de CV, Querétaro, donde trabaja en investigación, consultoría y desarrollo tecnológico. Sus líneas de investigación son nuevos materiales de construcción, como uso de adiciones naturales de mucílago de nopal, diseño de estructuras, durabilidad de materiales de construcción, métodos electroquímicos para la caracterización de materiales de construcción e inspección detallada de estructuras de concreto con problemas de corrosión, materiales de para la restauración de monumentos históricos, así como historia de las construcciones. En academia, es profesor/investigador en el área de Estructuras y Materiales de Construcción de la Universidad Marista de Querétaro, Universidad Autónoma de Querétaro y Universidad Anáhuac de Querétaro. Es Investigador Nacional, Nivel II, del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT. Es Académico Titular de la Academia de Ingeniería de México AC.



Dr. Tezomoc Pérez López

El Dr. Pérez es Ingeniero Químico, Maestro en Metalurgia y Doctor en Ciencias Químicas por la Facultad de Química de la UNAM. Profesor de asignatura de la Facultad de Química de la UNAM de 1990 a 1995. Profesor-investigador Titular de Tiempo Completo del Centro de Investigación en Corrosión, de la Universidad Autónoma de Campeche desde 1995, siendo Director Científico desde junio de 2002 hasta marzo de 2011. Reconocido por el Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT como Candidato a Investigador de 2001 a 2005; Investigador Nacional Nivel I para los periodos 2006-2008 y 2009-2012 y Nivel II de 2013 a 2016 y 2017 a 2021. Director de 2 tesis de doctorado, 12 de maestría y 24 de licenciatura; en codirección 1 de maestría y 13 de licenciatura. Perfil PROMEP desde 1997. Dentro de sus actividades de investigación y desarrollo están el estudio del deterioro y protección de metales y concreto armado por técnicas electroquímicas, preservación de materiales de interés histórico así como amplia trayectoria en corrosión atmosférica. Ha impartido cursos especializados de corrosión y asesorías a la industria. Ha publicado trabajos científicos en el área de corrosión y protección. Participante en el Comité de Restauración de los murales de Biblioteca Central de la UNAM, Jefe de grupo de la inspección del Puente de la Unidad, Campeche. Asesor del IMT en proyectos de investigación aplicada en corrosión de estructuras de concreto. Participante en el proyecto de restauración de la Estatua Ecuestre de Carlos IV.