

PROYECTO MULTI E INTERDISCIPLINARIO PIMI-17-05

“Desarrollo de sistemas de hidroxiapatita dopados con óxidos metálicos biocompatibles para aplicaciones biomédicas”

En la ciudad de Quito D.M., a los siete días del mes de junio del año dos mil veintidós, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario **PIMI-17-05 “Desarrollo de sistemas de hidroxiapatita dopados con óxidos metálicos biocompatibles para aplicaciones biomédicas”**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **M.Sc. Omar Fernando Bonilla Hidalgo** en calidad de **Director del Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-17-05**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 4 de julio de 2017, al amparo de lo dispuesto por el Consejo de Investigación y Proyección Social - CIPS, mediante Resolución R079/17, se aprueba el cronograma para la Convocatoria de proyectos de investigación 2017. El 1 de agosto de 2017, mediante Resolución R092/17, se aprueba la reforma al cronograma.
- b) El 24 de abril de 2018, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución R060/18, se aprobó el “Informe de Apelaciones – Convocatoria 2017”, donde se mostraron los resultados de la evaluación y apelación de las propuestas de los proyectos de la Convocatoria 2017. Entre los proyectos aprobados se encuentra el proyecto Multi e Intedisciplinario denominado *“Desarrollo de sistemas de hidroxiapatita dopados con óxidos metálicos biocompatibles para aplicaciones biomédicas”*, presentado por el Ing. Andrés Gabriel Chico.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0984-M del 2 de mayo de 2018, se notifica al Jefe de Departamento de Ingeniería Química que la propuesta de Proyecto de Investigación “Desarrollo de sistemas de hidroxiapatita dopados con óxidos metálicos biocompatibles para aplicaciones biomédicas”, presentada por el Ing. Andrés Chico ha sido aprobada. Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0985-M, del 2 de mayo del 2018, se informa al Ing. Andrés Chico que la fecha de inicio del proyecto es el 15 de mayo del 2018, y que se le ha asignado al proyecto el código PIMI-17-05.
- d) Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-1380-M del 29 de junio de 2018 se notifica el cambio de Director del proyecto PIMI-17-05, a favor del M.Sc. Omar Bonilla.
- e) Mediante Memorando EPN-CIIV-2021-0077-M del 28 de abril de 2021, el Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al M.Sc. Omar Bonilla la Resolución RCIIV-073-2021 del 27 de abril de 2021, donde se aprueba la prórroga técnica del Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-17-05 hasta el 14 de agosto de 2021.
- f) Mediante Memorando EPN-CIIV-2021-0146-M del 13 de julio de 2021, el Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al M.Sc. Omar Bonilla la Resolución RCIIV-126-2021 del 13 de julio de 2021, donde se aprueba la suspensión del proyecto desde el 13 de julio de 2021 hasta el 12 de enero de 2022, y la reanudación de las actividades del proyecto hasta el 14 de febrero de 2022.
- g) Mediante Memorando EPN-CIIV-2021-0232-M del 7 de octubre de 2021, Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación notifica al M.Sc. Omar Bonilla la Resolución RCIIV-186-

2021 del 5 de octubre de 2021, con la cual se levanta la suspensión del proyecto, reanudando sus actividades de investigación a partir del 5 de octubre de 2021 hasta el 5 de noviembre de 2021.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIMI-17-05
Nombre del Proyecto	<i>Desarrollo de sistemas de hidroxiapatita dopados con óxidos metálicos biocompatibles para aplicaciones biomédicas</i>
Director del Proyecto	OMAR FERNANDO BONILLA HIDALGO (desde el 21/06/2018) ANDRES GABRIEL CHICO PROAÑO (del 15/05/2018 hasta el 20/06/2018)
Codirector del proyecto	RAFAEL ALONSO URIBE SOTO
Colaboradores del Proyecto	MARIA CRISTINA RIOFRIO ALMEIDA LUIS RODRIGO LASCANO LASCANO
Colaboradores externos	LENYS MERCEDES FERNANDEZ MARTINEZ GEMA GONZALEZ VAZQUEZ
Departamento	INGENIERIA QUÍMICA (DIQ)
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Desarrollo y aplicaciones de nuevos materiales orgánicos e inorgánicos.</i> • <i>Materiales</i> • <i>Materiales dieléctricos y semiconductores</i> • <i>Nanoestructuras</i>
Objetivo	<i>Desarrollar sistemas de hidroxiapatita dopados con óxidos metálicos biocompatibles para uso potencial en aplicaciones biomédicas</i>
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Inicio: 15 de mayo de 2018</i> • <i>Fin planificado: 14 de mayo de 2021</i> • <i>Fecha fin prórroga técnica: 14 de agosto de 2021</i> • <i>Periodo de suspensión: desde el 13 de julio de 2021 hasta el 4 de octubre de 2021.</i> • <i>Fecha de finalización: 5 de noviembre de 2021.</i> • <i>Duración total: 39 meses</i>
Entrega del Informe Final	<i>4 de febrero del 2022</i>
Presupuesto asignado	<i>\$ 199.266,10 USD</i>
Presupuesto ejecutado	<i>\$ 187.415,60 USD</i>

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIMI-17-05-2022-0003-M del 4 de febrero de 2022 el M.Sc. Omar Fernando Bonilla Hidalgo, Director del Proyecto PIMI-17-05, presenta el Informe Final del Proyecto Multi e Interdisciplinario que dirige. Mediante Memorando EPN-PIMI-17-05-2022-0005-M del 24 de mayo de 2022 remitió evidencia de la publicación de dos artículos productos del proyecto. La documentación remitida es revisada por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Los sustratos metálicos de titanio y acero inoxidable BIOLINE SS316LVM mostraron formación superficial de óxidos tras el tratamiento químico durante la biomineralización, lo

que favorece la deposición de HAp bajo la acción de un campo magnético de 0,22 T. En estas condiciones, el sustrato SS presentó la deposición más favorable de HAp (0,108 mg/mm²). Además, los depósitos de HAp en los sustratos Ti y SS mostraron una morfología definida con relaciones Ca/P de 1,69 y 1,63 respectivamente, que son características de un HAp no estequiométrica. Las modificaciones superficiales de la superficie de titanio con Ta y Ta/TaN mejoraron la bioactividad de los sustratos. Se demostró que la aplicación de campos magnéticos siguiendo el método biomimético tiene un efecto significativo en la formación de hidroxiapatita sobre los diferentes sustratos estudiados (sumergidos en fluido corporal simulado durante 14 días y una irradiación de 0,22 T) al aumentar la relación masa/área obtenida de HAp en un 55,36% de media en comparación con el método biomimético tradicional. Sin embargo, las modificaciones del sustrato de acero SS316LVM con Ta y Ta/N produjeron un efecto positivo del campo magnético en la deposición de HAp. La medición del ángulo de contacto antes y después de la deposición de HAp demuestra el comportamiento hidrófilo de los sustratos Ti y SS, según lo deseado para aplicaciones de biomateriales.

- Mediante el método de deposición electroquímica sobre acero y sobre doble recubrimiento Ta/TaN sobre acero, utilizando fluido corporal simulado como electrolito se obtuvo una formación de HAp tipo coral característica. La deposición en Ta/TaN fue mucho más efectiva que en acero. Además, se encontró que la capa doble Ta/TaN protege contra la corrosión en presencia del electrolito agresivo del fluido corporal simulado, lo que implica que podría ser un recubrimiento potencial para implantes metálicos debido a su comportamiento bioactivo y protección contra la corrosión. Por otro lado, las mejores condiciones de formación de hidroxiapatita bajo el método electroquímico fueron para Ti, SS, Ta/TaN/Ti, Ta/TaN/SS a -1,6 V, -1,4 V, -1,5 V, -1,7 V, respectivamente, todos a 6.000 s.
- Diferentes mezclas de HAp-BaTiO₃ se han preparado con éxito con una distribución uniforme del grano y propiedades dieléctricas interesantes, similares o superiores a las propiedades dieléctricas del hueso. La adición de BaTiO₃ a HAp aumenta las propiedades piezoeléctricas de la hidroxiapatita y después de la polarización de los compuestos su bioactividad se incrementó significativamente. Este resultado sugiere que estos nuevos compuestos HAp-BaTiO₃ podrían ser utilizados potencialmente para la regeneración ósea con un aumento de la biocompatibilidad y la bioactividad.

PRODUCTOS:

1. Artículo: "*Effect of low magnetic field on biomimetic deposition of hydroxyapatite on titanium and BIOLINE stainless steel*"; Rafael Uribe, Andrea Uvillús, Omar Bonilla, Luis Lascano, Gema González; *Coatings* (indexado Scopus, Q2); ISSN: 20796412; DOI: 10.3390/coatings11121484; diciembre 2021.
2. Artículo: "*Polarization and biomineralization of hydroxyapatite-barium titanate composites*"; Rafael Uribe, Isamara Rojas, María C. Riofrío, Luis Lascano, Gema González; *Journal of Physics: Conference Series* (indexado Scopus); ISSN: 17426588; DOI: 10.1088/1742-6596/2238/1/012007; abril 2022.
3. Artículo: "*Electrochemical Deposition of Hydroxyapatite on Stainless Steel Coated with Tantalum/Tantalum Nitride Using Simulated Body Fluid as an Electrolytic Medium*"; Rafael Uribe, Andrea Uvillús, Lenys Fernández, Omar Bonilla, Angélica Jara, Gema González; *Coatings* (indexado Scopus, Q2); ISSN: 20796412; DOI: 10.3390/coatings12040440; marzo 2022.
4. Ponencia: "*Electrochemical deposition of hydroxyapatite on different metal substrates*"; Gema González; *IV International Congress of nanoscience and nanotechnology*; Quito – Ecuador, noviembre 2019.

5. Ponencia: "Polarization and biomineralization of hydroxyapatite-barium titanate composites" (indexado en SCOPUS); Rafael Uribe; XVII Encuentro de Física; Quito - Ecuador; octubre 2021.
6. Ponencia: "Síntesis y biomineralización de compuestos de hidroxapatita y titanato de bario"; Rafael Uribe; XIX Congreso Venezolano de Microscopía y Microanálisis; Guayana, Venezuela; octubre 2021.
7. Póster: "Síntesis, caracterización y respuesta de biomineralización de compuestos de titanato de bario-hidroxapatita"; Rafael Uribe; 1er Congreso Internacional de Química - Ecuador; agosto 2018.
8. Presentación virtual a la comunidad politécnica: "Presentación de resultados del proyecto PIMI-17-05: Desarrollo de sistemas de hidroxapatita dopados con óxidos metálicos biocompatibles para aplicaciones biomédicas"; Departamento de Ingeniería Química; Rafael Uribe; enero 2022.
9. Proyecto de titulación de Ingeniería Química: "Estudio de la deposición de hidroxapatita sobre sustratos metálicos para aplicaciones biomédicas en presencia de campos magnéticos y por métodos electroquímicos"; Andrea Carolina Uvillús Herrera; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19660>; agosto 2018.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario PIMI-17-05 fue de \$199.266,10 USD (ciento noventa y nueve mil doscientos sesenta y seis dólares americanos, con 10/100), y se ejecutaron \$ 187.415,60 USD (ciento ochenta y siete mil cuatrocientos quince dólares americanos, con 60/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario PIMI-17-05 "Desarrollo de sistemas de hidroxapatita dopados con óxidos metálicos biocompatibles para aplicaciones biomédicas".

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los siete días del mes de junio del año dos mil veintidós.

Dra. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación

cr/sp

M.Sc. Omar Bonilla
Director del Proyecto
PIMI-17-05