

USOS Y BENEFICIOS DE LA HIDROXIAPATITA COMO BIOMATERIAL EN  
LESIONES OSEAS DE PEQUEÑAS ESPECIES

GEOVANY DARIO CARVAJAL VILLAMIZAR

Noviembre de 2017.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Especialización en Biotecnología Agraria

USOS Y BENEFICIOS DE LA HIDROXIAPATITA COMO BIOMATERIAL EN  
LESIONES OSEAS DE PEQUEÑAS ESPECIES

Por: GEOVANY DARIO CARVAJAL VILLAMIZAR

Monografía para optar al título de  
Especialista en Biotecnología Agraria  
Asesor: JOSE CAMILO TORRES ROMERO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA-UNAD ESCUELA DE  
CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE ECAPMA  
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA AGRARIA  
PAMPLONA, 2017

## Contenido

Resumen.....	5
Abstract.....	5
Delimitación del problema.....	6
Objetivos.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos.....	6
Introducción.....	7
Biomateriales.....	8
Hidroxiapatita.....	11
Aplicación de la hidroxiapatita en pequeñas animales .....	12
Conclusiones.....	16
Referencias Bibliográficas .....	17

**LISTA DE TABLAS**

Tabla No. 1. Clasificación y ejemplos de los Materiales utilizados como biomateriales en medicina humana y medicina veterinaria .....	8
---	---

## Usos y beneficios de la hidroxiapatita como biomaterial en lesiones óseas de pequeñas especies

Geovany Carvajal Villamizar  
Médico Veterinario, Universidad de Pamplona  
Correspondencia: geovanycarvajal3@gmail.com

### *Resumen*

Los biomateriales son materiales que se caracterizan por ser moléculas incapaces de producir una reacción inmune, pero que son útiles para complementar la actividad de un tejido, pueden reemplazar la función de algunos tejidos de soporte como el óseo, coadyuvando en el buen funcionamiento fisiológico de los mismos; un biomaterial utilizado es la hidroxiapatita (HA), la cual es un biocristal formado por átomos de calcio, fósforo e hidrógeno presente en los huesos, debido a que este confiere dureza y rigidez propias de cada organismo. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica enfocada en los diferentes usos que se le ha dado al biocompuesto para el tratamiento de fracturas. También se destaca el posible uso del mismo para tratamientos con pequeños animales, gracias a sus cualidades de elasticidad, dureza y adaptabilidad.

**Palabras clave:** biocompatibilidad, fijación, tratamiento, compuesto, hidroxiapatita.

### *Abstract*

Biomaterials replace the function of some support tissues such as bones, contributing to its physiological functioning; a biomaterial used is the hydroxyapatite (HA), which is a biocrystal formed by atoms of calcium, phosphorus and hydrogen present in the bones, because it confers hardness and rigidity of each organism. This paper presents a bibliographical review focused on the different uses of the biocomposite for the treatment of

fractures. In addition, this paper foreground the possible use of this biomaterial for small animal treatments, thanks to its elasticity, hardness and adaptability qualities.

**Keywords:** Biocompatibility, fixation, treatment, compound, hydroxyapatite.

### ***Delimitación del problema***

El tratamiento de fracturas en animales ha sido materia de estudio debido al proceso dispendioso de recuperación que además involucran altos costos, las utilidades de biomateriales han generado avances al respecto en humanos y grandes animales en prácticas rutinarias, sin embargo, en la actualidad algunos estudios en el mundo muestran cómo se puede utilizar hidroxiapatita (Un biomaterial) en pequeños animales facilitando así la recuperación de mascotas, caprinos y ovinos. En Colombia, debido a sus características en cuanto a la convivencia, utilización y recuperación de animales es un tema central y generador de recursos económico. Las propuestas resultantes de una revisión bibliográfica analítica pueden facilitar la utilización y desarrollo de técnicas asociadas a la utilización de hidroxiapatita y así contribuir para la disminución de costos en tratamientos veterinario y bienestar animal en general.

### ***Objetivos***

#### ***Objetivo general***

Realizar una revisión bibliográfica analítica acerca de los usos y beneficios de la hidroxiapatita como biomaterial en lesiones óseas de pequeños animales.

#### ***Objetivos específicos***

- Caracterizar la utilización de biomateriales para tratamientos óseos.

- Identificar la utilización que se le está dando a biomateriales en el Colombia
- Generar propuestas que contribuyan al desarrollo del agro utilizando biomateriales en pequeños animales.

### ***Introducción***

El tratamiento de fracturas en pequeños animales es dispendioso debido a los altos costos y dificultad en tratamientos postoperatorios. El objetivo principal de este trabajo fue realizar una revisión bibliográfica del uso de la hidroxiapatita en prótesis en pequeños animales, identificando los artículos de mayor relevancia acerca del uso de éste material en la construcción de prótesis. La información es tomada de bases de datos indexadas, evidenciando la viabilidad del uso de este material según investigaciones y aplicaciones realizadas en el campo de la medicina veterinaria y estableciendo un comparativo con otros materiales usados en la construcción de prótesis.

La hidroxiapatita (HA) es una molécula inorgánica común, formado por tres moléculas de fosfato de calcio y por una molécula de hidróxido de calcio, lo que la convierte en una apatita posibilitando dureza y rigidez propio de los huesos. (Orozco, Marino, Forero, y Restrepo, 2011). Este importante biomaterial esta asociado con la osteogenesis debido a que permite que los osteoblastos y osteocitos generen resitencia por acumulacion del cristal confomando generalmente hasta el 70% de biomasa en el hueso. (Riaño y Vera, 2014).

Debido a su carácter inerte al no potencializar reacciones asociadas con complejos de histocompatibilidad se ha utilizado comúnmente para tratar lesiones en humanos y grandes animales, sin embargo, en los últimos años se ha potenciado su uso en lesiones de pequeños animales. El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión analítica que visualice su posible utilización en el contexto colombiano.

## ***Biomateriales***

Un biomaterial se define como una molécula que esta incapacitada de producir una reacción inmune y que es útil para complementar la actividad de soporte en un tejido.

Los biomateriales se comenzaron a utilizar de manera intuitiva a partir de la edad media, cuando se utilizaban algunos tejidos animales para suturar heridas y detener hemorragias con ligaduras quirúrgicas (Plazas y Perilla, 2011). Estos hilos eran absorbidos naturalmente por el organismo tratado, ya que su composición era biológica y eran fácilmente degradados por las proteasas propias del paciente. Teniendo en cuenta el gran impacto que tuvo a partir del siglo XX, debido a la utilización masiva y crecimiento exponencial de técnicas asociadas con recuperación gracias a la segunda guerra mundial (Díaz y Martínez, 2007). En la tabla 1, se muestran algunos biomateriales utilizados con frecuencia en el contexto médico derivados de la postguerra. (Gil y Garrido, 2003).

Tabla 1  
*Clasificación y ejemplos de los Materiales utilizados como biomateriales en medicina humana y medicina veterinaria*

Materiales	Definición	Ventajas	Desventajas	Ejemplos
Polímeros: silicon, teflón, dacron, nylon	Molécula grande, constituida por pequeñas unidades químicas simples. Billmeyer (2004)	Elásticos, fáciles de fabricar, baja densidad	Baja resistencia mecánica, degradación con el tiempo.	Suturas, arterias, venas, orejas, mandíbulas, dientes, tendones.
Metales, alteraciones de titanio, aceros de bajo contenido de carbón.	Considerados casi inertes, pues tienen una formación hueso implante mucho menor que la deseada, aun así siguen siendo los más usados para soportes de carga. Rodil, 2009)	Resistencias a esfuerzos de alto impacto, alta resistencia al desgaste.	Baja biocompatibilidad, corrosión en medios fisiológicos, alta densidad, perdida de propiedades mecánicas con tejidos conectivos suaves.	Fijación ortopédica, tornillos, clavos, alambres, placas, barras intermedias, implantes dentales.
Cerámicas: óxidos de aluminio, aluminatos de calcio, óxidos de titanio y carbono.	Los materiales cerámicos son de reciente uso y se consideran como cerámicos aquellos cuya química permita	Buena biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, inerte, resistencia a la alta corrosión.	Fractura ante esfuerzos de alto impacto, difícil fabricación, baja resistencia mecánica, inelásticos, alta densidad.	Prótesis de cadera, dientes, dispositivos transcutáneos.

	lograr un comportamiento fisiológico y biológico adecuando en la parte del cuerpo donde se use. Orgaz, F; Rincón, J y Capel, F. (1987)			
Compuestos: cerámica, carbón, otro material	En esta clasificación podemos ver una mezcla de los biomateriales mencionados anteriormente, en el caso de la hidroxiapatita y los fosfatos de calcio se mezclan con otros polímeros naturales o sintéticos con el fin de conseguir un mejor resultado. Arias Ramírez, Damayanis y González Santos, Ramón. (mayo-agosto, 2004)	Buena compatibilidad, inerte, resistencia a la corrosión, alta resistencia a los esfuerzos.	Carecen de consistencia en la fabricación del material	Válvulas cardiacas, uniones óseas y marcapasos.

*Nota.* Tomado de La ciencia para todos, edición electrónica (2005), de Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa.

Retomando los antecedentes que dejó la guerra, se encontró que la observación clínica acerca de la inclusión de partículas metálicas en los cuerpos de los soldados heridos, determinó que los pacientes toleraban el material utilizado (Aguado, 2008), esta situación otorgó a los médicos un criterio empírico que justificó el uso de implantes metálicos para corregir daños en el cráneo o para la fijación interna de fracturas. La comprobación de que los pilotos de guerra no sufrieron alteraciones en la funcionalidad del ojo frente a inclusiones oculares de astillas de metilmetacrilato, polímero vítreo empleado en las ventanillas de los aviones, condujo al desarrollo de las lentes intraoculares fabricadas con ese material; las

lentes son consideradas aún hoy en día como uno de los implantes más exitosos (Plazas y Perilla, 2011).

Entre los polímeros más importantes de uso en biomedicina encontramos una gran diversidad según el material y la aplicación, tenemos algunos de aplicaciones en enfermedades cardiovasculares tales como la estenosis y la insuficiencia, como el PTFE (politetrafluoroetileno) o teflón que es un polímero similar al polietileno y funciona muy bien en la fabricación de válvulas alveolares, que permiten mejorar el flujo de sangre en dichas patologías; también en patologías oftálmicas podemos ver el caso de los implantes oculares y los lentes de contacto que también son polímeros hechos de hidrogel los cuales absorben el agua y se adaptan a la forma de la córnea por ser blandos; las suturas son otros de los polímeros que tienen un gran uso en medicina humana y animal, pueden ser absorbibles con principios como el polipropileno, nailon y el polietileno; y no absorbibles fabricados con materiales biodegradables como el ácido poliglicólico (Martínez, 2015)

Martínez Bernal (2015) menciona el PMMA siglas del polimetilmetacrilato, como el polímero de elección en el tratamiento ortopédico de fracturas, ya que funciona como un cemento óseo que completa el espacio entre el implante y el hueso permitiendo una buena curación en estos casos.

La utilización de metales en biomedicina data según Ramírez (2012) desde hace más de 100 años, cuando se usó por primera vez una placa metálica como tratamiento en una fractura; los implantes de acero inoxidable se han constituido como los más indicados por su alta resistencia a la corrosión y el desgaste. Además no solo son útiles en el tratamiento de fracturas sino que también son usados en la fabricación de válvulas artificiales, en los famosos alambres de ortodoncia y en otorrinolaringología en la fabricación de tímpanos artificiales.

Las cerámicas se pueden definir como un compuesto sólido inorgánico que se prepara por gestión de calor y después es sujeto a una fase de enfriamiento, estos materiales promueven una reparación en tejidos dentarios y conectivos como lo sustenta García Barreno (s.f), aunque son bastante porosos, tienen buena compatibilidad y son resistentes a la corrosión; este material es frágil y por este motivo su uso puede ser más restringido en la biomedicina. La HA se puede clasificar dentro de los materiales cerámicos y es sintetizada artificialmente o en su forma natural, este material también se puede utilizar solo o en aleación con otros materiales como los metálicos, en los cuales se hacen recubrimientos con HA para lograr una mayor biocompatibilidad y en esta fase de acoplamiento entre dos biomateriales se pueden llegar a clasificar como materiales compuestos.

Después de la segunda guerra mundial la Hidroxiapatita (HA) se colocó como un biomaterial ampliamente utilizado empíricamente, por no presentar reacciones paralelas debido a algunas propiedades de disponibilidad y químicas que discutiremos a continuación.

### ***Hidroxiapatita***

Este componente inorgánico con fórmula química  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  puede ser extraído de los huesos, actualmente es posible sintetizarlo en laboratorio. Se ha convertido en un componente esencial en cualquier tratamiento colocándose en situaciones encima al polietileno y las cerámicas de fosfatos, estos no han mostrado una respuesta tan satisfactoria como la presentada por el compuesto HA pues la hidroxiapatita genera menos incidencia de reacciones alérgicas (Hernández, Palma, y Piña, 1998). Estudios realizados por Díaz y Martínez (2007) encontraron que la utilización de hidroxiapatita favorece procesos de implantación debido a que potencializa una aglomeración de partículas ricas en fosfato de calcio lo que la particulariza al lado de la utilización de otros biomateriales. En estudios el grupo de Albarova (2004), manifiestan que la hidroxiapatita en pequeños animales pueden

mantener la homeostasis de sustancias en el medio extracelular expresada con la actividad celular circundante al implante haciendo de la utilización del material una práctica que favorece el contexto bioquímico de recuperación ósea. Sin embargo, no siempre se utiliza el biomaterial, existen estudios como los realizados por el grupo de Ortega (2009) que sostienen la utilización de metales en lesiones profundas debido a sus propiedades mecánicas sin embargo los autores recomiendan la utilización de hidroxiapatita combinada con la de utilización de metales debido a que también reportan osteoconducción en tejido cuando se realiza el implante metálico acompañado por la hidroxiapatita. . (Ortega, Meseguer, Alcaraz, Sepúlveda y clavel-nolla, 2009).

Gonzalez y Guerra, 1993. Recomiendan la utilización de hidroxiapatita conseguida de la extracción de huesos pues demostraron que la síntesis química utilizando Nitratos de Calcio y fosfatos de Amonio resultaba en pérdida en solución de calcio en la forma de trifosfatos de calcio ( $\beta$ -TCP y  $\alpha$ -TCP), que a su vez representa una incapacidad bioactiva y poca osteointegración, a diferencia de procesos naturales, como la extracción del componente en huesos del cerdo, que ofrece mejores resultados en cristalinidad, permitiendo disminuir la degradación y asimilando la repetición del proceso (Gonzalez y Guerra, 1993). Los autores recomiendan extraer manifiestan que las extracciones de dichos componentes se han realizado frecuentemente en bovinos y cerdos debido a su densidad ósea y recomiendan la extracción de la apatita sobre su síntesis.

### ***Aplicación de la Hidroxiapatita en pequeños animales***

Entre las investigaciones más comunes destacan las realizadas por el grupo de Marín (2008) en humanos, en las que después de la utilización de la hidroxiapatita se evidencia la

preservación del reborde alveolar, reconstrucción ósea, artrodesis y fijación de prótesis exitosas con la utilización del compuesto (Marín, Escobar, Ossa y Echavarría, 2008).

Los tratamientos en pequeñas especies utilizando hidroxiapatita como molécula para el tratamiento de fracturas se volvió común después de resultados exitosos con humanos. Los primeros experimentos se realizaron sobre caninos y felinos con fracturas a nivel humeral, femoral y en general en huesos largos (Meseguer-olmo *et al.*, 2006). El tratamiento inicial consistía en recubrir los huesos afectados con HA, consiguiendo osteointegración y regeneración del tejido óseo en implantes con metales y sin metales.

Gómez y Clemente (2000) indican mediante investigaciones realizadas con caninos que extracción de material óseo de un canino podría ser útil para aliviar fracturas en otro animal consiguiendo rápidamente visualización de estructuras fibroblastoides y adherencia al medio de cultivo propio del crecimiento de células óseas. Por otro lado, los mismos autores demostraron que mediante el trasplante de células madre se potencializaba además la producción de colágeno en segmentos asociados con prótesis mejorando drásticamente el pronóstico.

Haciendo un paréntesis estos mismos autores nos hablan sobre el proceso de recubrimiento de implantes metálicos con este compuesto mediante una disolución acuosa llamada plasma spray, la cual permite incorporar una técnica que se asemeja al cubrimiento de una capa de HA sobre la el implante metálico y la parte ósea que se desea reparar, y el éxito del tratamiento deriva en poder disminuir la porosidad, permitiendo una adhesión y estabilidad química con una cristalinidad media que estabilice la capa fosfocálcica, activando las características inactivas que son favorables en la reparación total, con ventajas muy importantes como la disminución en el tiempo en recuperación y regeneración celular (Gómez y Clemente, 2000).

Se ha establecido la aplicabilidad de estos tratamientos en pequeños animales, basándose en la satisfactoria respuesta que obtuvo Williams (1990) ante el recubrimiento con componentes de HA en procesos dentales de reconstrucción para enfermedades periodontales, así como en tratamientos para fracturas, colocando placas de fijación y compresión. Asimismo, se han realizado estudios histológicos para revisar la evolución del animal que utiliza este tipo de implantes (Williams, 1995).

Sequeda et al (2012) resalta los resultados obtenidos en el transcurso de los últimos treinta años, donde se ha logrado conseguir compuestos cerámicos compatibles, de alta pureza y aptos para su utilización, a partir de la obtención de hidroxiapatita sintética mediante métodos de sinterización y la precipitación, permitiendo la aceptación en casi todos los organismos y disminuyendo el rechazo en la reparación de huesos y en la sustitución de partes óseas; ofreciendo buenos resultados en la síntesis de HA por precipitación comparados con la extraída del hueso bovino y mostrando también una buena adaptación sobre un soporte metálico como el silicio el cual es un componente bastante importante en cirugías reconstructivas.

Dentro de los estudios se destaca como ejemplo, un reporte en Cuba en el centro de biomateriales de la Universidad de la Habana (Delgado et al 2006), utilizando una muestra de 10 perros Beagle que fueron sometidos a una implantación de gránulos de hidroxiapatita en la mandíbula y fémur, estos perros fueron sacrificados a los tres, seis, doce y veinticuatro meses de implantados; posteriormente se obtuvieron muestras de los tejidos implantados, sin embargo luego de ser estudiada la posible reacción tóxica local y revisar mediante cortes histológicos la presencia de material inflamatorio en el tejido cercano a la implantación, se concluye que el material en todos los casos presentó propiedades de biodegradación y osteoconducción haciendo de este una práctica fiable en el contexto de la medicina veterinaria.

En Brasil, específicamente en el laboratorio de cirugía experimental, del departamento de cirugía de la *Universidad Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)*, se realizó un estudio que generó resultados significativos en el área radiográfica. Este estudio consistía en implantar cuatro tipos diferentes de HA para ser comparados entre ellos; se tomaron 96 cobayos de raza Nueva Zelanda, y fueron divididos en cuatro grupos de veinticuatro. Luego de la implantación se encontró que los animales estudiados no presentaron disminuciones en su peso ni en su metabolismo, incluso, en algunos de estos se vio una cicatrización cortical más rápida. Se pudo apreciar el comportamiento ante la implantación de los cuatro tipos de HA, en donde se resalta el caso de la hidroxiapatita a base de coral, que es una biocerámica compatible, biodegradable, inerte y poco tóxica que posee una estructura diferente a la del tejido receptor, lo que permite una mayor facilidad en el uso de cantidades deseadas. (Figueiredo, Fagundes, Novo, Inouye, Takita, Sassioto, 2004).

Paralelamente, en un estudio que usó 58 prótesis de cadera en humanos, comparando un mismo modelo de vástago con tres recubrimientos diferentes entre ellos la hidroxiapatita extraída de hueso de bovino, se apreciaba un mayor crecimiento óseo en el grupo en que se utilizó HA; según esta publicación, como las sales de calcio amorfas se reabsorben con mayor rapidez que la HA cristalina, el recubrimiento con un metal rico en estas sales reaccionará rápidamente con su entorno óseo, pero quizá a una velocidad superior a la que es capaz de integrar el implante, sin embargo, la disolución demasiado rápida de recubrimiento de HA puede dar lugar a un anclaje fibroso del implante (Murillo, Giraldo y Moreno, 2011).

En ortopedia ha dado excelentes resultados la hidroxiapatita bovina, porcina, y humana. Se han probado de igual forma, precursores como los fosfatos y carbonatos de calcio sobre todo en la práctica odontológica (Monzón, Martínez, Rodríguez, Piña y Pérez, 1996). En este sentido, es de especial interés conocer más este cristal. Las investigaciones del esmalte dental humano han dado luz al conocimiento de la estructura, origen y función. Con

el diseño de técnicas para microscopía electrónica los avances han ido más allá de la clásica descripción de forma de cerradura compactada en un arreglo hexagonal.

Finalmente es importante resaltar lo mencionado por Díaz (2015) en cuanto al precio del material, lo cual establece un beneficio en gran medida y alto impacto en animales que no cuentan con un dueño con los recursos económicos para los tratamientos requeridos. Como menciona Díaz en UN periódico de la Universidad Nacional de Colombia, se puede obtener hidroxiapatita natural con materia prima extraída del fémur de las vacas, teniendo en cuenta que es el hueso más grande y que de la totalidad del hueso se puede extraer aproximadamente 75% de material; el material luego de su extracción es sometido a calcinación para la eliminación de componentes orgánicos, lo cual da como resultado la hidroxiapatita pura. La hidroxiapatita obtenida es sometida a pruebas de Biocompatibilidad estandarizadas que en conejos presentó una respuesta positiva desde el primer ensayo a nivel subcutáneo. Se busca que esta alternativa arroje resultados positivos de Biocompatibilidad en perros y gatos, de modo que pueda ser implementada como alternativa económica para algunos animales, ya que el costo sería de tan sólo un 10% respecto del valor común en el mercado.

## **Conclusiones**

La ingeniería y los procesos biomédicos prestan mayor interés al hecho de incluir factores investigativos que evidencian la necesidad de trabajar con métodos y elementos naturales específicos, que consideran los aspectos físicos y químicos más relevantes en la utilización de biomateriales, que permitan características específicas de resistencia, dureza, porosidad disolución y adhesividad (Faig y Gil, 2008).

La revisión elaborada difícilmente determina la utilización óptima del biocompuesto para la reparación de tejidos a pesar de reportarse como altamente biocompatible; sin embargo y teniendo en cuenta la eficiencia repostada del biocompuesto, es posible pensar que mediante la utilización de mezclas con otros biocompuestos es necesaria una revisión más detallada para dilucidar cuáles son los mejores mecanismos de obtención y combinación con otros elementos que puedan tener una relación sinérgica.

Además de conocer la respuesta sistemática de los tejidos en presencia de los biocompuestos, se hace necesario analizar con base en la ingeniería tisular, los avances en la regeneración tisular guiada, para que estos biomateriales con diseños adecuados sean cada vez más eficientes.

En base a la situación actual de los tratamientos de fracturas en pequeños animales la Hidroxiapatita es un biomaterial con un futuro prometedor para la atención de pacientes con enfermedades Oseas que según los resultados obtenidos muestra una buena compatibilidad y además de eso tiene un beneficio-costos que permitiría un fácil acceso por parte de propietarios de pacientes.

### **Referencias bibliográficas**

- Arias D. y González R. (2004). *Biomaterial de implante óseo compuesto de HAP-polivinilacetato*. Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 35, núm. 2, pp. 101-103  
Centro Nacional de Investigaciones Científicas La Habana, Cuba.
- Arboleda, A., Franco, M., Caicedo, J. y Goyes, C. (2011). *Síntesis de hidroxiapatitananoestructurada a partir de cáscaras de huevo para aplicaciones médicas*. Congreso Internacional de Materiales. Recuperado de:

[http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5792/1/VelezJuan\\_2014\\_hidroxiapatitacombustioncarbonatocalcio.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5792/1/VelezJuan_2014_hidroxiapatitacombustioncarbonatocalcio.pdf)

- Billmeyer, F. W., Jr (2004). *Ciencia de los polímeros*. Editorial Reverte S.A., Barcelona, España.
- Campos, L. y Rodríguez, M. (1995). *Estudio sobre biorresorción y biocompatibilidad de hidroxiapatita cerámica producida en Colombia*, pp. 33–36.
- Crenshaw, A. (1998). *Técnicas y vías de abordaje quirúrgicas*. (F. Canales, Ed.) (Harcourt B). Madrid: Camphell. Cirugía Ortopédica.
- De Carvalo, C., Silva, R., Santos, J. y Pelliciari, C. (2000). *Caracterización de recubrimientos de hidroxiapatita depositadas sobre la aleación Ti6Al7Nb a través de aspersión térmica a plasma*. *Biomecánica*, 8, pp. 49–53.
- Delgado, R., et al (2014). *Evaluación anatomopatológica experimental de la implantación en hueso de hidroxiapatita*. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 5, pp. 1–8.
- Díaz, E. y Martínez, D. (2007). *Obtención de la hidroxiapatita utilizando el metodo de sinterización*. Universidad Industrial de Santander.
- Faig-Martí, J. y Gil-Mul, F. (2008). *Los recubrimientos de hidroxiapatita en las prótesis articulares*. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, 52(2), pp. 113–120.
- Fernández, E. (1996). *Obtención y caracterización de nuevos cementos óseos de fosfato de calcio en el sistema  $\text{CaHPO}_4 - \alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$* . E.t.s. D'enginyeria Industrial de Barcelona.

Figueiredo AS *et al* (2004). *Osteointegração de osso bovino desvitalizado, hidroxiapatita de coral, poliuretana de mamona e enxerto ósseo autógeno em coelhos*. Recuperado en:

<http://www.scielo.br/acb>.

García Barreno, Pedro (s.f). *Materiales de aplicación en medicina*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/1226295/MATERIALES\\_DE\\_APLICACION\\_EN\\_MEDICINA](https://www.academia.edu/1226295/MATERIALES_DE_APLICACION_EN_MEDICINA)

García, C., García, C., y Paucar, C. (2009). *Formación In-Situ de circonia en la síntesis de sustitutos óseos basados en matriz de alumina-circón infiltrada con hidroxiapatita*.

DYNA, 77.

Gil, J., Garrido, R., Gil, R., y Melgosa, M. (2003). *Materiales para la reparación y sustitución ósea. Factores de crecimiento y terapia genética en Cirugía Ortopédica y Traumatología*. Mapfre Medicina, 4(1), pp. 51–59.

Gómez, J., y Clemente, R. (2000). *Técnicas de precipitación como alternativa a la tecnología de recubrimientos con hidroxiapatita mediante plasma spray*. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 20(1), pp. 30–38.

Gómez-Hortigüela, L., Pérez, J., Díaz, I., y Chebude, Y. (2015). *Material compuesto de estilbita-nanohidroxiapatita, procedimiento de preparación y utilización para la eliminación de fluoruro del agua*. España.

Gonzalez, R. y Guerra, J. (1993). *Materiales bioactivos para implantes óseos. Características y aplicaciones*. Revista CENIC.

González, R. (2005). *Hidroxiapatita Porosa Coralina Hap-200. 15 Años de Aplicaciones Clínicas*. Revista CNIC, p. 36.

- Hortigüela, L., Pérez, J., y Díaz, I. (2014). *Materiales compuestos de zeolita-hidroxiapatita para la eliminación de fluoruro del agua potable*. Real Sociedad Española de Química. Anales de Química, 110(4), pp. 276–283.
- Hortigüela, L., et al (2014). *Ion-exchange in natural zeolite stilbite and significance in defluoridation ability*. *Microporous and Mesoporous Materials*, 193, pp. 93–102.
- Hernández, R., Palma, R. y Piña, C. (1999). *Hidroxiapatita y sus aplicaciones*. Revista Mexicana de Física, 45, pp. 144–147.
- Hidalgo, V., Berardinelli, E., Blesa, M., y Apella, M. (2001). *Adhesión de streptococcus mutans sobre hidroxiapatita in vitro*. Biomecánica, 9(1), pp. 55–60.
- Köseoğlu, H., Aslan, G., Sen, B., Tuna, B., y Yörükoğlu, K. (2010). *Litiasis prostática: cálculos silentes*. Actas Urológicas Españolas, 34(6), pp. 555–559.
- López, M., Echavarría, A., Suárez, R., y Herrera, N. (2003). *Hidroxiapatita macroporosa obtenida en la Universidad de Antioquia: síntesis, caracterización y comparación con el hueso esponjoso y calcinado de bovino*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 30(0120-6230), pp. 109–124.
- Lozano, K., Mina, J., Zuluaga, F., Valencia, C., y Valencia, M. (2013). *Influencia de la incorporación de un co-monómero alcalino e hidroxiapatita en las propiedades de cementos óseos*. DYNA, 80 (2346-2183).
- Martínez Bernal, Marcos (2015), Fluencia y fractura de los materiales poliméricos. Recuperado de: <https://prezi.com/wxebwsdkqfay/fluencia-y-fractura-de-los-materiales-polimericos/#>

- Martínez, A., Esparza, H., Garbajal, G., y Ortiz, J. (2008). *Caracterización estructural y morfológica de hidroxipatitananoestructurada: estudio comparativo de diferentes métodos de síntesis*. *Superficies y Vacío*, 21(4), pp. 18–21.
- Martínez, M., Pacheco, A. y Fontes, M. (2012). *Implantación de hidroxipatita-lignina en canal medular de conejos: evaluación macroscópica y difractográfica*. *Revista MVZ Córdoba*, 17(3)(3209-3216), pp. 3209–3215.
- Messeguer, L., et al (2006). *Cinética de crecimiento in vitro de osteoblastos humanos sobre cerámica porosa de hidroxipatita*. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, 50(3), pp. 224–232.
- Monzón, D., Martínez, I., Rodríguez, R., Piña, J., y Pérez, E. (2014). *Injertos óseos en implantología oral*. *Revista Médica Electrónica*, 36(4). Pp.1684-1824.
- Muñoz, J., Clavel, M., Messeguer, L. y Bernabeu, A. (1999). *Aislamiento y cultivo de células de estirpe osteoblástica : cinética de crecimiento sobre cerámica de hidroxipatita*. Universidad de Murcia.
- Murillo, Y., Giraldo, L., y Moreno, J. (2011). *Determinación de la cinética de adsorción de 2,4-dinitrofenol en carbonizado de hueso bovino por espectrofotometría UV-VIS*. *Revista Colombiana de Química*, 40, pp. 91–103.
- Orozco, J., Mariano, I., Forero, P., Arango, P., y Restrepo, P. (n.d.). *Síntesis y caracterización de la hidroxipatita natural obtenida del hueso de cerdo*. *Revista Colombiana de Materiales*, pp. 165–171.
- Oliveira, S., *Et al* (2009). *No Title*. *Revista Electrónica de Materiales Y Procesos*, 4, 11–20.

- Orgaz, F; Rincón, J y Capel, F. (1987). *Biomateriales bioceramicos y biovidrios*. Instituto de Cerámica y Vidrio, C.S.I.C. Arganda del Rey (Madrid)
- Pareja, N., Escobar, D., Ossa, C., y Echavarría, A. (2008). *Síntesis y caracterización de hidroxiapatitamicroporosa, comparación con un producto comercial*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 43, pp. 67–76.
- Pereda, O., Escandón, F., y González, R. (2000). Experiencia clínica con implantes de hidroxiapatita en el tratamiento de pseudoartrosis. *Revista Cubana de Ortopedia Y Traumatología*, 30, 149–153.
- Pereda, O., Rumbaut, M., y González, R. (2004). *Hidroxiapatita coralina en tratamiento de fracturas de tibia*. Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología, 11, pp. 61–64.
- Pérez, A. *Et al* (2005). *Implante óseo de la espuma de hidroxiapatita-09 Estudio experimental en conejos*. Revista Española de Patología, 38(1). Recuperado en: <http://www.patologia.es/volumen38/vol38-num1/pdf%20patologia%2038-1/38-01-04.pdf>
- Piña Barba, María (2005) *La física en la medicina. La ciencia para todos* [Edición electrónica]. Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa. [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/37/htm/sec\\_14.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/37/htm/sec_14.htm)
- Plazas, C.y Perilla, J. (2011). *Pasado, presente y futuro cercano de los materiales para uso en implantes óseos biodegradables*. Ingeniería E Investigación, 31(2), 124–133.
- Quintana, J., Rodríguez, R., y Hernández, A. (2004). *Empleo de la hidroxiapatita en la reparación ósea periapical*. Revista Cubana de Estomatología, 41(3) pp. 1561-297.

Ramírez, Carlos. (2012). Metales para aplicaciones biomédicas. Recuperado de:

<https://prezi.com/8by7sdpvzeqw/metales-para-aplicaciones-biomedicas/>

Riaño, M., y Vera, V. (2014). *Aislamiento, caracterización y potencial de diferenciación de células madre mesenquimales caninas derivadas del tejido adiposo*. Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 61(2).

Rodil, Sandra E. (2009.). *Modificación superficial de biomateriales mecánicos*. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. 2 Mexico, D.F, Mexico.

Rodríguez, A., Melo, M., Figueroa, L., y Alvarado, J. (2000). *Métodos de disolución en muestras de hidroxiapatita y corales*. Revista CENIC.Ciencias Químicas, 31(1)(0254-0525), pp. 9–13.

Rodríguez, M., y Paredes, C. (1989). *Síntesis de hidroxiapatita y su acondicionamiento como material protésico de tejido duro*. Universidad Nacional de Colombia.

Sequeda, L., Díaz, J.Gutiérrez, S., Perdomo, S., y Gómez, S. (2012). *Obtención de hidroxiapatita sintética por tres métodos diferentes y su caracterización para ser utilizada como sustituto óseo*. Revista Colombiana de Ciencias Químicas, 41(1), pp. 50–66.

Ubeda, F. (1994). *Respuesta ósea a implantes del compuesto “fosfato tricálcico-colágena” en defectos óseos segmentarios : estudio experimental en ratas*. Universidad de Murcia.

Vélez, J., Cardona, N., Gómez, J., y López, E. (n.d.). *Síntesis de hidroxiapatita por combustión a partir del carbonato de calcio obtenido de cáscaras de huevo de gallina*. Revista Colombiana de Materiales, 5, pp. 97–102.

Williams, R. (1990). *Bioquímica dental básica y aplicada*. (J. Samperio, Ed.) (Segunda).

México: Manual Moderno.