

Materiales de origen natural para uso biomédico

Nerly Montañez Supelano*

*MSc en Ingeniería de Materiales. Docente Investigadora. Grupo de Sistemas y Tecnologías Biomédicas. Departamento de Investigaciones. Universidad Manuela Beltrán. Bucaramanga. Santander. Colombia.
Correspondencia: Ing. Montañez. Calle 33 N° 27-62 Bucaramanga Colombia. Teléfono: [+57] 3112211208. Correo electrónico: nerly.montanez@virtualumb.com; ing.nerly.montanez@hotmail.com.

RESUMEN

Este artículo hace una revisión narrativa de la literatura científica de investigaciones relacionadas con materiales obtenidos de fuentes naturales para uso biomédico, aplicaciones en prótesis ortopédicas o regeneración ósea. Se describe la metodología para la selección de la literatura científica, así como la síntesis de los materiales naturales, detallando las principales características que estos deben cumplir en cuanto a la reactividad con el tejido biológico y la biocompatibilidad. La biocompatibilidad de un material depende de su composición, sus características superficiales y de su respuesta favorable ante la reactividad con el tejido biológico. Esta propiedad en los materiales naturales se estudia desde el punto de vista de la composición de los mismos, que por ser naturales los pueden convertir en materiales biomiméticos, que cumplen con funciones y características necesarias para ser usados como potenciales biomateriales. Los materiales comúnmente usados en ortopedia y regeneración ósea son de alto costo y muchas veces de difícil acceso para los pacientes. (MÉD.UIS. 2014;27(1):35-41).

Palabras clave: Materiales Biocompatibles. Síntesis. Prótesis. Regeneración ósea.

Natural materials for biomedical use

ABSTRACT

This article is a narrative review of the research literature related to new materials from natural sources for biomedical use, applications in bone regeneration orthopedic prostheses. The methodology for the selection of the literature is described, also the synthesis of natural materials, detailing the major features in that they must meet for reactivity with biological tissue and biocompatibility. The biocompatibility of a material depends on its composition, surface characteristics and response favorably to the reactivity with biological tissue. This property in natural materials is studied from the viewpoint of the composition there of, which can be converted into the natural biomimetic materials that meet necessary functions and features for potential use as biomaterials. The materials commonly used in orthopedics and bone regeneration are expensive and often difficult to access for patients. (MÉD.UIS. 2014;27(1):35-41).

Keywords: Biocompatible Materials. Synthesis. Prostheses. Bone regeneration.

¿Cómo citar este artículo?: Montañez ND. Materiales de origen natural para uso biomédico. MÉD. UIS. 2014;27(1):35-41

INTRODUCCIÓN

En la sociedad se ha visto la necesidad de la utilización de todo tipo de implantes, así como el conocimiento de las complicaciones que pueden generar, como inflamación del tejido circundante al implante, liberación de sustancias tóxicas y en otros casos el

rechazo completo del mismo, con el fin de mejorar su respuesta ante el tejido biológico. Las investigaciones dirigidas hacia los nuevos y mejorados biomateriales usan también un criterio de alta importancia, como lo es el costo que genera la fabricación y obtención de los mismos, además de todos los requisitos que deben tener estos materiales, como la biocompatibilidad,

resistencia a la degradación, resistencia mecánica, osteoconductividad, similitud química y estructural, asequebilidad, etc.^{1,3}.

La obtención de biomateriales que facilitan la regeneración ósea es uno de los objetivos claves en el desarrollo de la nueva generación de implantes ortopédicos. Una alternativa para el desarrollo de este tipo de biomateriales son los materiales obtenidos de fuentes ya sean naturales animales o vegetales. Dentro de esta categoría se encuentra el colágeno, albúmina, quitosano, otros no tan conocidos y de menor costo como la cáscara de huevo, la Cascarilla de Arroz, (RH por sus siglas en inglés Rice Husk) el coral bambú, la guadua, la cáscara de coco y la tagua vegetal. Este artículo se centrará en describir las características principales de los materiales naturales de bajo costo, así como la síntesis y caracterización de los mismos, de allí que se pueden dilucidar las características principales que los pueden categorizar como materiales potenciales para aplicaciones biomédicas. Estas características pueden ser subproductos químicos similares a los que contiene el cuerpo humano como derivados cálcicos y fosfatos, categorizando dichos materiales como materiales de tipo biomimético^{4,5}.

La biomimesis, proveniente de Bio, vida y mimesis, imitar, es la ciencia que estudia la naturaleza, sus modelos de sistemas, procesos y elementos que imitan o se inspiran en ella para solucionar problemas humanos. La palabra biomimético designa los procesos o los materiales que se han obtenido imitando las condiciones o las características finales de los materiales naturales de los seres vivos⁴.

MÉTODOS

Se llevó a cabo la recolección de la información en bases de datos como *Directory of Open Access Journal (DOAJ)*, *Scopus*, *SciELO*, *PubMed*, *Dialnet*, *ScienceDirect-Elsevier*, y bases de datos de libros como *Access Engineering*, *e.Library* y *e-libro*.

Las palabras clave que se usaron en esta etapa fueron: “*biomaterial*”, “*biocompatibility*”, “*biomimetic*”, “*coconut*”, “*bamboo*”, “*rice husk*”, “*tagua*”, “*coral*”, “*isidella*”, “*eggshell*”, “*natural material*”, entre otros.

Se analizó la información, en donde se buscaba establecer la relación de los materiales de origen natural con el procesamiento de biomateriales que contengan propiedades mecánicas y de

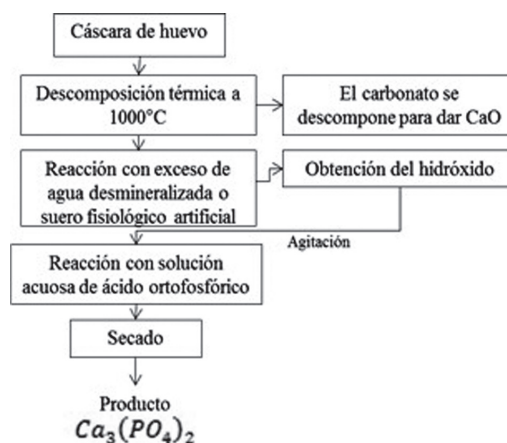
compatibilidad con el cuerpo humano, mediante estudios *in-vitro* e *in-vivo*. A partir de dicho análisis se establecieron métodos de procesamiento de compuestos químicos o subproductos capaces de ser precursores de sustancias bioactivas. Los criterios de inclusión fueron materiales de origen natural evaluados química, biológica y mecánicamente. Los criterios de exclusión fueron materiales completamente sintéticos y estudios de precursores sintéticos para el desarrollo de fosfatos cálcicos. Los tipos de estudios desde los cuales se deriva la revisión en su mayoría fueron estudios *in vitro* de material natural y vegetal.

CERÁMICAS BIOMIMÉTICAS Y COMPUESTOS CÁLCICOS OBTENIDOS DE FUENTES NATURALES

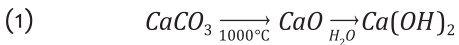
Una de las características principales de las cerámicas y materiales biomiméticos de origen natural es la composición química de las fases que se emplearán para la síntesis del material de interés. Se describe la composición química, síntesis y propiedades de los materiales obtenidos de fuentes naturales.

La cáscara de huevo de gallina contiene una fase inorgánica compuesta en un 97% a 98% de carbonato de calcio⁵ y el 2% restante es carbonato de magnesio, además tiene pequeñas cantidades de iones sodio, potasio y fosfato, lo que hace una constitución iónica muy parecida a la de la dentina. Uno de los materiales de interés que pueden provenir de la cáscara de huevo, son los fosfatos de calcio, que se ha demostrado que son biocompatibles con tejido biológico. Se muestra el tratamiento que se le da a la cáscara de huevo para convertir este material en un material biocompatible, haciendo la síntesis de fosfato tricálcico a partir de cáscara de huevo⁴ (Ver Figura 1).

Figura 1. Síntesis de fosfato tricálcico a partir cáscara de huevo.



Las reacciones generales en el proceso de síntesis de fosfatos de calcio a partir de carbonatos provenientes de materiales naturales como la cascara de huevo son:



La reacción de la cáscara de huevo con ácido fosfórico 1M muestra como resultado fosfato de calcio. El porcentaje de carbonato de calcio de hueso cortical bovino es de 5,8% en peso, mientras el del carbonato-hidroxiapatita sintetizado a partir del mismo hueso con ácido fosfórico fue de 4,5% en peso con un pH de solución cercano al neutro. Ensayos de difracción de rayos X y de microscopía electrónica de barrido, muestran un alto grado de cristalinidad en la estructura del carbonato de calcio⁶.

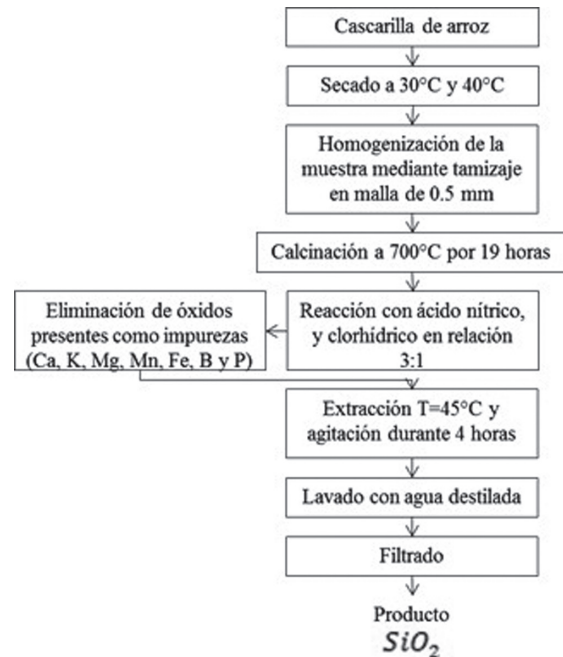
La RH es uno de los principales subproductos agrícolas de varios países. Se produce alrededor del 20 al 25% en peso de RH, que en el 2007 oscilaba entre 123 y 132 millones de toneladas sumadas dentro de los países productores de arroz como China, India, Indonesia, Tailandia, Brasil, entre otros. La RH cuenta con un alto contenido de silicio, existente como silicio hidratado, adicionalmente contiene potasio, aluminio, fósforo, hierro, manganeso y cloro⁷⁻⁹.

La estructura de la RH es porosa, lo que permite la absorción de humedad. Las composiciones químicas de RH varían de una muestra a otra, relacionada con el tipo de arroz, el año de cosecha, las variaciones climáticas, las condiciones geográficas, e incluso los fertilizantes utilizados en el crecimiento del arroz¹⁰. Un análisis realizado a la cascara por Prasad y Pandey¹¹, sugiere que contiene SiO₂ alrededor de 22%, un 74% de materia orgánica y agua y un 4% de Al₂O₃ + Fe₂O₃ + CaO + MgO^{11,3}. El porcentaje de SiO₂ varía entre un 15% y 22% y se encuentra en forma hidratada¹¹.

Un análisis elemental a la muestra de RH después de tratarla químicamente mediante un software de Espectroscopía de Emisión de Energía Oxford Inca X-Sight en un equipo de Microscopía de Barrido JEOL JSM-6060 LV, evidenció una cantidad significativa de silicio y oxígeno en por ciento en peso de 41,62% y 52,90%, respectivamente. Así mismo, se encontró un porcentaje muy pequeño de elementos como sodio, magnesio, aluminio, potasio, hierro y calcio. El análisis por difracción de rayos X que consiste en un análisis cualitativo y cuantitativo de materiales por medio de la difracción de rayos X por sólidos en

estado cristalino, evidenció fase cristalina de cuarzo hexagonal, tridimita ortorrómbica, eroinita hexagonal y albita triclinica¹³. El tratamiento de la RH se lleva a cabo mediante calcinación y posterior reacción con ácido nítrico y clorhídrico¹⁴⁻⁶ (Ver Figura 2).

Figura 2. Síntesis de sílice a partir de cascara de arroz.



Se han realizado estudios de biomateriales hechos a partir de materiales de origen marino que proveen nuevo hueso para reemplazos y pueden llegar a ser composites biomiméticos. Uno de esos materiales es el coral bambú, proveniente de mares a profundidades de 1000 m¹⁷.

Una especie de estos corales, de la familia Isidella, también conocido como coral bambú, fue investigado por Born y colaboradores en el instituto de ciencia de materiales de Alemania¹⁷. Estos autores encontraron por medio de análisis de espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier, microscopía electrónica de transmisión y espectroscopía Raman, la composición mineral responsable de la estabilidad mecánica del coral. Para observar la matriz orgánica de esta especie de coral, se realizó una descalcificación por procedimiento Osteosoft (solución Merck descalcificadora en función del tamaño y la densidad del tejido). El procedimiento se llevó a cabo usando la solución descalcificadora por tres días hasta que apareció la matriz orgánica sobre la superficie y vista por microscopio. Este coral bambú muestra una fase orgánica de proteínas acidas fibrilares,

en donde se encontró glutamina y prolina, dos aminoácidos presentes en el cuerpo humano¹⁷⁻⁹. La fase inorgánica, vista por Raman está compuesta de calcita CaCO_3 . La composición del esqueleto y las dimensiones de la matriz orgánica de los corales de bambú son muy similares a la del hueso humano, con estructuras porosas con separaciones a partir de 100 nanómetros¹⁷, con estructuras calcáreas óseas, alternados por nodos proteicos. Además, estos corales tienen una temperatura de desnaturalización alta, alrededor de 203°C ¹⁹.

Otros autores, estudiaron el coral rojo y nácar desde el punto de vista de las propiedades mecánicas y químicas. Al hacer pruebas de microdureza, se encontró que estas muestras con diferentes porosidades obtenían durezas mayores a las de hueso bovino (55-70 HV), las cuales se encontraban por encima de 130 HV. La porosidad del material es de gran importancia, ya que se encuentra relacionado con la degradación del mismo²⁰. Se llevaron a cabo pruebas de microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de energía dispersiva y se encontraron concentraciones de cristales de calcita, Calcio en un 54,72%, Carbono en 6,18% y Oxígeno en 37,09% en peso para el coral. La microestructura hexagonal del coral rojo tiene una porosidad de 10 a 40 μm , concordando con una estructura porosa del hueso trabecular humano. De igual manera, la composición química del coral, muestran similitud con la composición química del hueso²¹, ya que a partir de carbonato cálcico es posible obtener fosfato cálcico.

Gracias a las propiedades físicas, químicas y mecánicas que ha mostrado el coral²², se ha usado como andamio o *scaffold* en la ingeniería de tejidos. Guangpeng y colaboradores, enfocaron su estudio en la fabricación de andamio a partir de coral natural de la isla de Hainan en China, con una concentración de carbonato de calcio de 99% y tamaño de poro de 100 a 300 μm . Se insertaron en la matriz células madre osteoinducidas y se cultivaron allí por siete días, luego se realizó inserción en un perro con defectos en el cráneo, obteniendo como resultado la proliferación rápida de células que mantienen su fenotipo osteogénico y creación de matriz extracelular, observado mediante microscopía de barrido confocal láser. A 24 semanas posimplantación, se observó corrección completa del defecto óseo²³. Estos andamios con una porosidad entre 30 y 40% se usaron también en una fístula arteriovenosa femoral de conejo. Esta forma de uso de este material, puede facilitar la

regeneración de grandes volúmenes de tejidos óseos vascularizados²⁴.

El uso del esqueleto del coral como biomaterial de andamio se ha usado ampliamente en ingeniería de tejidos, en especial de cartílago, debido a su estructura avascular²⁵, y se han utilizado andamios con otros cerámicos como el quitosano para tejido periodontario en etapa periodontal²⁶. El coral al igual que la hidroxiapatita hacen la función de reabsorción de sustancias químicas como el calcio, fósforo, zinc, hierro, solo que el coral realiza este proceso en menor tiempo que la hidroxiapatita²⁷. También se ha usado el coral en el desarrollo de gránulos de apatitas²⁸ y como precursor para el desarrollo de fosfatos cálcicos en sistemas de liberación controlada de medicamentos, en donde estudios *in vivo* en ratones con osteoporosis, mostraron que el sistema biomimético mostró importantes aumentos en hueso cortical y esponjoso²⁹. Se describe una forma de síntesis o preparación de los andamios de coral en compuestos cálcicos (Ver Figura 3 y 4)^{28,30}.

Figura 3. Preparación de andamio de coral en CaCO_3 y aminoácidos.

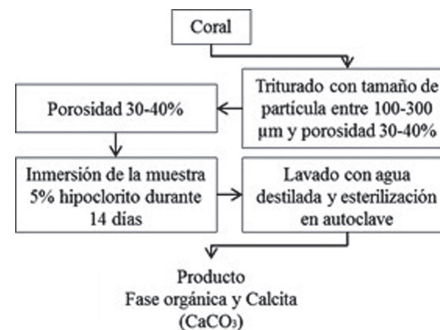


Figura 4. Síntesis de andamio de coral en CaCO_3 cristalina.



La guadua está catalogada como acero vegetal por sus propiedades de flexibilidad, dureza y durabilidad³¹. Al igual que la tagua vegetal, ha sido poco estudiado como biomaterial. Se han hecho estudios de propiedades mecánicas para aplicaciones de tipo civil³². Han sido reportados datos de máximo esfuerzo a la tracción, deformación total y módulo elástico. Estos valores se compararon frente a los encontrados por otros autores de hueso humano seco, especialmente el de costilla (Ver Tabla 1)³⁴⁻⁸.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de la guadua y comparación con hueso real

Propiedad Mecánica	Hueso real trabecular; Cortical ³⁴⁻⁸ .	Guadua ³³
Máx. Esfuerzo a Tracción	8-50 MPa; 100-150 MPa	11,98± 2,57 MPa
Deformación Total	2-4%; 1-3%	2,75± 0,72 %
Módulo Elástico (MPa)	40; 10000-15000	Tracción: 496,35± 145,96

Los resultados de otras investigaciones, sugieren que la guadua tiene un máximo esfuerzo a la tracción más cercano al de hueso trabecular que cortical, así como el modulo elástico de tracción. El valor de deformación total para el prototipo en estudio se encuentra dentro del rango encontrado por otros autores relativos a hueso trabecular (Ver Tabla 1). Esto indica que, mecánicamente la guadua puede funcionar como andamio o soporte para células junto con otro material tipo cerámico que le confiera la dureza que le hace falta.

La cáscara de coco, al igual que la guadua, ha sido investigada por sus propiedades mecánicas. Existen investigaciones en donde se ha agregado fibra de coco pulverizada al concreto para mejorar las capacidades mecánicas del mismo, especialmente la tenacidad del compuesto concreto fibra de coco³⁹; o investigaciones en donde se refuerza resinas epóxicas con fibra de coco⁴⁰.

Se ha caracterizado mecánicamente la fibra de coco como resistente a los impactos, a las flexiones y compresiones, con una resistencia a la tracción de 131-220 MPa^{39,41,42}, que comparado con la resistencia a la tracción de hueso humano seco (100-150 MPa)³⁴⁻⁸, satisface la propiedad mecánica

de resistir a la tracción. Además, tiene un módulo de Young de 4-6 GPa^{41,43}, y el de hueso humano seco es de 10-15 GPa³⁴⁻⁸.

Químicamente, la fibra de coco tiene en más de un 80% hidratos de carbono, lo que le confiere gran resistencia a la degradación, siendo un material 100% biodegradable⁴⁴. Los elementos químicos que contiene de mayor porcentaje en mg/L son potasio, calcio, fósforo, sodio, magnesio, cloro y nitrógeno-amonio^{45,46}, elementos que por excepción al cloro y el amonio, están presentes en los materiales biocerámicos.

Se han llevado a cabo estudios de biocompatibilidad de esta fibra natural mediante el uso de células de osteosarcoma humano. Los resultados mostraron una reactividad moderada y adhesión celular luego de 24 horas de cultivo. Sin embargo, presenta cierta citotoxicidad, como consecuencia del uso de ciertos aglutinantes usados para la realización de muestras sólidas⁴⁷.

Las fibras de materiales de origen natural, refuerzan materiales como polímeros y cerámicos para hacer composites que cumplan con las características necesarias para un implante. Estos materiales compuestos son una buena alternativa ya que el composite será menos rígido que los metales comúnmente usados en ortopedia, en donde la rigidez causa en muchas ocasiones osteopenia u osteoporosis⁴⁸.

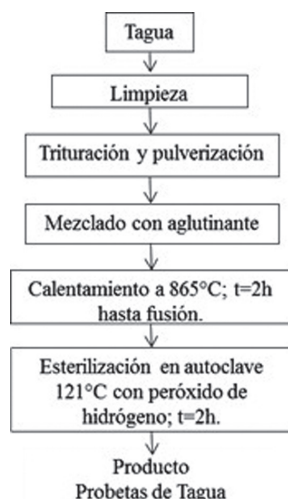
La tagua, conocida como marfil vegetal, es la semilla de la palma *Phytelephas macrocarpa* que crece en países como Panamá, Ecuador y Colombia⁴⁹. Este marfil vegetal tiene una dureza considerable y su superficie es muy homogénea. Sin embargo, se ha encontrado poca información de la tagua como material para uso biomédico.

Este material contiene elementos que pueden funcionar para la fabricación de andamios. La tagua contiene 55% de material inorgánico como calcio fosfato 82%, magnesio fosfato 15%, carbonato de calcio 2%, fluoruro de calcio 0,25% y aproximadamente 45% es orgánico como colágeno y cantidades pequeñas de lípidos⁵⁰.

Pardavé y colaboradores iniciaron el proceso de conocimiento de las propiedades de

biocompatibilidad de este material. Los autores en su estudio de proliferación celular, encontraron por medio de un cultivo celular osteoblastos provenientes de osteosarcoma humano, la disminución paulatina del número celular. La concentración de tagua vegetal a la cual no hubo respuesta tóxica fue de 3,90 $\mu\text{g}/\text{mL}^{51}$. Sin embargo, el estudio de Pardavé deja abierto el hecho de investigar con otro tipo de aglutinante que permita a las células proliferarse (Ver Figura 5).

Figura 5. Preparación probetas de tagua vegetal.



CONCLUSIONES

Los materiales de origen natural proveen características semejantes a algún tejido en particular, especialmente en tejidos duros por las propiedades mecánicas, físicas y químicas que estos materiales muestran. Esto demuestra su potencial uso como sustituto de hueso en cirugía ortopédica.

De acuerdo a la revisión, el material de origen natural más investigado en el campo de los biomateriales es el coral. Con respecto a los resultados de las investigaciones, el coral es un material que sirve de andamio para ingeniería de tejidos, con buenos resultados de biocompatibilidad, osteoconductividad y de absorción, que ha tenido muy buenos resultados ante la respuesta inmune de los individuos bajo estudio.

Los materiales de origen natural, exhiben la propiedad de biomimetividad, lo que indica que cuentan con características biológicas y estructurales capaces de asemejarse a los tejidos humanos, especialmente tejido óseo trabecular,

generando altas posibilidades de ser un excelente material como andamio para regeneración ósea. La mayoría de estos andamios se basan en la formación *ex vivo* de tejido para reparación de defectos óseos o de cartílago.

Los materiales en estudio se analizaron bajo diferentes técnicas microscópicas y espectroscópicas conocidas, facilitando su caracterización y comportamiento frente a tejido vivo. La síntesis y preparación de estos materiales más de tipo cerámico es relativamente sencilla. Las investigaciones apuntan al hecho del uso cada vez mayor, de este tipo de materiales para uso biomédico, por sus características y por la asequibilidad que estos materiales tienen. Sin embargo, estos materiales no han sido usados ampliamente en seres humanos debido a la falta de evidencia de ensayos *in vivo* que demuestren su alta biocompatibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Navarro M. Desarrollo y caracterización de materiales biodegradables para regeneración ósea. Barcelona: Politécnica de Catalunya Univ.; 2005.
2. Lárez C. Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química*. 2006;1(2):15-21.
3. Infante P, Gutiérrez J, Torres D, García A, Gonzales J. Relleno de cavidades óseas en cirugía maxilofacial con materiales autólogos. *Rev Esp Cirug Oral y Maxilofac*. 2007;29(1):7-19.
4. Guevara C, Romero G, Calle M, Delgado E. Desarrollo de una biocerámica biomimética para uso específico en odontología. *Rev Acad Colomb Cienc*. 2006;30(117):595-604.
5. Hunton P. Research on eggshell structure and quality: an historical overview. *Rev Bras Cienc Avic*. 2005;7(2):67-71.
6. Acevedo J, López J, Vargas G, Rendón J, Méndez J. Chemical synthesis of bone-like carbonate hydroxyapatite from hen eggshells and its characterization. *Bol Soc Esp Ceram*. 2007;46(5):225-31.
7. Xiong L, Saito K, Sekiya E, Sujaridworakun P, WADA S. Influence of impurity ions on rice husk combustion. *Journal of metals, materials and minerals*. 2009;19(2):73-7.
8. Forero A, Medrano L, Díaz S. Obtención de silicio metalúrgico a partir de mezclas de ceniza de cascarilla de arroz y arena silicea. *Rev. LatinAm. Metal. Mat*. 2009; 3 Suppl S1: 1349-52.
9. Prakash J. Preparation and Characterization of Bioactive Silica-based Ceramics derived from Rice Husk Ash [tesis doctoral]. Rourkela (India): National institute of technology; 2010.
10. Chandrasekhar S, Satyanarayana K, Pramada P, Raghavan P, Gupta T. Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk – an overview. *Journal Mat. Sci*. 2003; 38(15):3159-68.
11. Prasad R, Pandey M. Rice husk ash as a renewable source for the production of value added silica gel and its application: an overview. *Bulletin of chemical reaction engineering & catalysis*. 2012;7(1):1-25.
12. Kumar A, Mohanta K, Kumar D, Parkash O. Properties and Industrial Applications of Rice husk: A review. *IJETAE*. 2012;2(10):86-90.
13. Farook A, Chew T, Syahidasalwa Y. Bio-template Synthesis of Silica-Ruthenium Catalyst for Benzylolation of Toluene. *J PHYS THER SCI*. 2003;24(1):29-35.
14. Espindola A, Estevez M, Martinez A, Castaño V, Velazco C. Obtención y caracterización microestructural de nanopartículas de SiO₂ a partir de cascarilla de arroz, pulpa de café y bagazo de caña empleando bioprocesos a base de anélidos. Centro de

- física aplicada y tecnología avanzada UNAM Campus Juriquilla Queretano México [cited 2012 Dic 18]. Available from: URL: http://www.amemi.org/Docs/simposia_materiales/carteles/101_Obtenci%C3%B3n_y_caracterizaci%C3%B3n.pdf
15. Dessai R, Desaa J, Senb D, Mazumder S. Effects of pressure and temperature on pore structure of ceramic synthesized from rice husk: A small angle neutron scattering investigation. *Journal of Alloys and Compounds*. 2013;564:125-29.
 16. Prawingwong P, Chaiya C, Reubroycharoen P, Samart C. Utilization of Rice Husk Ash Silica in Controlled Releasing Application. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 2009;19(2):61-5.
 17. Born R, Ehrlich H, Bazhenov V, Shapkin N. Investigation of nanoorganized biomaterials of marine origin. *Arabian Journal of Chemistry*. 2010;3:27-32.
 18. Volpi N. Adsorption of glycosaminoglycans onto coral – a new possible implant biomaterials for regeneration therapy. *Biomaterials*. 1999;20:1359-63.
 19. Kubisz L, Ehrlich H. Temperature dependence of electric conductivity of bamboo coral skeleton and glass sponge spicules, the marine origin biomaterials. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2007;353:4497–500.
 20. Soria J, Barcia J, Andrade J, Romero J, Monleón M, García J. Uso de biomateriales en medicina regenerativa, aspectos básicos y aplicaciones en el Sistema Nervioso. *Trauma*. 2008;20(1):15-22.
 21. Hamza S, Slimanea N, Azarib, Z, Pluvinageb G. Structural and mechanical properties of the coral and nacre and the potentiality of their use as bone substitutes. *Applied Surface Science*. 2013;264:485-91.
 22. Begley C, Doherty M, Mollan R, Wilson D. Comparative study of the osteoinductive properties of bioceramic, coral and processed bone graft substitutes. *Biomaterials*. 1995; 16: 1181-85.
 23. Guangpeng L, Yun Z, Bo L, Jian S, Wuyin L, Lei C. Bone regeneration in a canine cranial model using allogeneic adipose derived stem cells and coral scaffold. *Biomaterials*. 2013; 34: 2655-64.
 24. Dong Q, Shang H, Wu W, Chen F, Zhang J, Guo J, Mao T. Prefabrication of axial vascularized tissue engineering coral bone by an arteriovenous loop: A better model. *Materials Science and Engineering*. 2012; 32:1536-41.
 25. Gross T, DiCarlo B, French M, Athanasiou K, Vago R. A study of crystalline biomaterials for articular cartilage bioengineering. *Materials Science and Engineering*. 2008; 28: 1388-400.
 26. Zhang Y, Wang Y, Shi B, Cheng X. A platelet-derived growth factor releasing chitosan/coral composite scaffold for periodontal tissue engineering. *Biomaterials*. 2007; 28: 1515-22.
 27. Braye F, Irigaray J, Jallot E, Oudadesse H, Weber G, Deschamps N, et al. Resorption kinetics of osseous substitute: natural coral and synthetic J hydroxyapatite. *Biomaterials*. 1996;17(13):1345-50.
 28. Sivakumar M, Kumar TS, Shantha KL, Rao KP. Development of hydroxyapatite derived from Indian coral. *Biomaterials*. 1996;17(17):1709-14.
 29. Chou J, Hao J, Ben-Nissan B, Milthorpe B, Otsuka M. Coral Exoskeletons as a Precursor Material for the Development of a CalciumPhosphate Drug Delivery System for Bone Tissue Engineering. *Biol. Pharm. Bull.* 2013;36(11) :1662-65.
 30. Gao Z, Chen F, Zhang J, He L, Cheng X, Ma Q, et al. Vitalisation of tubular coral scaffolds with cell sheets for regeneration of long bones: a preliminary study in nude mice. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2009; 47(2):116-22.
 31. Navas E. Aplicaciones estructurales de la guadua (*Guadua angustifolia kunth*). Proyecto de estructura modular multifuncional en Colombia [tesis de grado]. Madrid (España): Politécnica de España Univ.; 2011.
 32. Osorio JA, Espinosa A, García EA. Evaluación de las propiedades mecánicas de la estructura interna de la guadua con un modelo matemático. *Dyna*. 2009;160:169-78.
 33. Montañez N, Solares L, Caserta G. Diseño de un prototipo de hueso humano y propiedades mecánicas de un biocerámico a partir de ramas de guadua [tesis de grado]. Bucaramanga (Colombia): Manuela Beltrán Univ.; 2013.
 34. Nordin M, Frankel VH. Biomechanics of bone. In: Lippincott Williams & Wilkins editors: Basic biomechanics of the musculoskeletal system. 3rd ed. Estados Unidos; 2001. p. 35-58.
 35. Subit D, Del Pozo E, Valazquez-Ameijide J, Arregui-Dalmases C, Crandall J. Tensile material properties of human rib cortical bone under quasi-static and dynamic failure loading and influence of the bone microstructure on failure characteristics. *Physics.bio-ph*. 2013;1-22.
 36. Li Z, Kindig MW, Subit D, Kent R. Influence of mesh density, cortical thickness and material properties on human rib fracture prediction. *Med Eng Phys*. 2010;32(9):998-1008.
 37. Li Z, Kindig MW, Kerrigan JR, Untaroiu CD, Subit D, Crandall JR, et al. Rib fractures under anterior-posterior dynamic loads: experimental and finite-element study. *J Biomech*. 2010;43(2):228-34.
 38. Vezin P, Berthet F. Structural characterization of human rib cage behavior under dynamic loading. *Stapp Car Crash J*. 2009;53:93-125.
 39. Quintero S, González L. Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Ingeniería y Desarrollo*. 2006;20:134-50.
 40. Prakash T. Processing and characterization of natural fiber reinforced polymer composites. Rourkela (India): National institute of technology; 2009.
 41. Fernandes E, Correlo V, Mano J, Reis R. Novel cork-polymer composites reinforced with short natural coconut fibres: Effect of fibre loading and coupling agent addition. *Compos. Sci. Technol*. 2013;78:56-62.
 42. Chandramohan D, Marimuthu K. A review on natural fibers. *IJRRAS*. 2011;8(2):194-206.
 43. Bujang I, Awang M, Ismail A. Study on the dynamic characteristic of coconut fibre reinforced composites. Regional Conference on Engineering Mathematics, Mechanics, Manufacturing & Architecture; 2007. Malaysia.
 44. Conde S. Estudio de la fibra de coco con resina poliéster para la manufactura de palas de aerogeneradores de pequeña potencia. Santo Domingo Tehuantepec (México): Istmo Oaxaca Univ.; 2010.
 45. Evans R, Konduru S, Stamps R. Source Variation in Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust. *Hortscience*. 1996;31(6):965-67.
 46. Vargas P, Castellanos JZ, Sánchez P, Tijerina L, López RM, Ojodeagua JL. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Rev. Fitotec. Mex*. 2008;31(4):375-81.
 47. Pardavé W, Rojas M, Camelo K. Biocompatibilidad del prototipo de hueso humero humano obtenido a partir de cáscara de coco. *Rev Univ Ind Santander Salud*. 2011;43(1):86.
 48. Chandramohan D, Marimuthu K. Bio composite materials based on bio polymers and natural fibers- contribution as bone implants. *IJAMSAR*. 2011; 1(1):09-12.
 49. Saldarriaga J, Zuluaga R, Álvarez C, Gañán P. Caracterización de polisacáridos naturales obtenidos a partir de fuentes colombianas. *Revista Investigaciones Aplicadas*. 2007;1(2):6-12.
 50. Salazar M. Evaluación de pinturas arquitectónicas de tipo látex con fibras naturales de tagua y cabuya [tesis de grado]. Guayaquil (Ecuador): Escuela superior politécnica del litoral; 2006.
 51. Pardavé W, Plazas A, Torres RD. Desarrollo de un prototipo del hueso humano a partir de tagua vegetal. Ensayos de biocompatibilidad in vitro. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metal*. 2011;14(28):1-7.