

Nombre del semillero de investigación

SEMILLERO DE INVESTIGACION EN MATERIALES

Nombre del proyectoESTUDIO DE MATERIALES CERAMICOS PARA APLICACIONES MEDICAS
FASE 2**Año**

2019

Marco del Proceso de ASC: Fortalecimiento o solución de asuntos de interés social.

Este semillero de investigación forma parte de la estrategia de Investigación Formativa de la Universidad EAFIT que ratifica su compromiso con el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología, la Innovación y la Creación y lo establece como uno de sus ejes misionales. Con el desarrollo de iniciativas como estas, aportamos a los procesos científico-tecnológicos y creativos que se desarrollan en el seno de su comunidad universitaria y cómo estos permean las experiencias de aprendizaje de los estudiantes.

En el propósito de cultivar talentos y vocaciones científicas y creativas el rol del profesor es vital, ya que es quien desde su pasión, experiencia y conocimiento acerca a los estudiantes a las técnicas propias del saber científico y diseña experiencias de aprendizaje que aporten a la construcción de procesos investigativos.

En consonancia con los [Lineamientos de Investigación Formativa de la Universidad](#), se describe a continuación los principios que rigieron la ejecución del componente con sus resultados, en términos del fortalecimiento de asuntos de interés social, del presente proyecto:

Objetivos del semillero en clave de fortalecimiento de la práctica educativa

- * Caracterizar las propiedades estructurales de materiales sintetizados a base de cemento Portland y evaluar el efecto de la red de poros en la biocompatibilidad de los mismos. * Evaluar el efecto del pH del cemento Portland y de los materiales de estudio fabricados a partir del mismo sobre las características de biocompatibilidad.
- * Identificar y seleccionar los procesos adaptativos que contribuyan a mitigar los

MedellínNIT 890901389
Carrera 49 # 7 sur-50
(57) 604 261 95 00**Pereira**Carrera 19 # 12-70
Megacentro Pinares
(57) 606 321 41 15**Bogotá**Carrera 15 # 88-64
oficina 401
(57) 601 611 46 18**Llanogrande**Km 3.5 vía Don Diego –
Rionegro
(57) 322 529 4323

efectos adversos del cemento Portland y dirijan este material hacia características de biocompatibilidad. * Implementar procesos adaptativos que mejoren las propiedades tanto mecánicas como biológicas del cemento Portland, para que este pueda ser utilizado en aplicaciones médicas.

Metodología

Se desarrolló una metodología de dos etapas. La primera etapa se denominó "proceso de experimentación para la generación de poros al cemento portland blanco tipo I" y consistió en la preparación de muestras homogenizadas de cemento, agua y cristales de cloruro de sodio, siendo el parámetro de variación el contenido de peróxido de hidrógeno en cada una de las muestras. Luego de un reposo de 3 días, se continuó con la etapa 2 denominada "construcción de muestras a gran escala para futuros ensayos mecánicos" en la que se realizó un análisis microestructural de la porosidad del cemento en función de la cantidad de peróxido de hidrógeno adicionada, para luego generar nuevas muestras que pueden ser usadas en análisis de resistencia mecánica.

Resultados obtenidos

Al comparar imágenes obtenidas por Microscopía Electrónica de Barrido (en aumentos de 500X, 1000X y 2000X) para cada una de las muestras, se identificó que a mayor porcentaje de peróxido de hidrógeno adicionado a la mezcla de cemento, agua y cristales de cloruro de sodio mejor es la organización de la estructura porosa adoptada por el cemento. Adicionalmente, se recomienda el perfeccionamiento de la técnica utilizada con el fin de obtener el tamaño de poros a escala milimétrica esperado y sin comprometer las propiedades mecánicas del cemento portland, para que sea efectivo a la hora de usarlo en la biomedicina.

Descripción del fortalecimiento, la solución o el mejoramiento de la práctica educativa

* Se motivó el intercambio de conocimientos y resultados de estudios en torno a la ciencia de los materiales para aplicaciones tecnológicas avanzadas. * Se contó con un espacio de estudio y análisis en torno a preguntas sobre la constitución de los materiales, sus características y propiedades, de modo que se identificaron las capacidades de los materiales y se entendió su comportamiento integrado al mundo de la tecnología y la cotidianidad actual.

A partir de estas consideraciones, a continuación, se encuentra la sistematización del proceso.

ESTUDIO DE MATERIALES CERÁMICOS PARA APLICACIONES MÉDICAS FASE 2

INFORME FINAL DEL PROYECTO

SEMILLERO DE MATERIALES

JOSE MANUEL RENDON

MARIA CAMILA HERNANDEZ

VANESSA RESTREPO

SANTIAGO MACHADO

VALENTINA RODRIGUEZ

MARIA JOSE GIL

Profesor Asesor:

CLAUDIA CONSTANZA PALACIO ESPINOSA

Ingeniera Metalúrgica

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE CIENCIAS

INGENIERIA FÍSICA

2018

Tabla de Contenido

RESUMEN	4
INTRODUCCION	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	8
OBJETIVO GENERAL:.....	8
OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
Vigilancia tecnológica	8
Clasificación y aplicaciones de los materiales cerámicos.	9
Características de los materiales cerámicos usados en aplicaciones médicas.....	11
Compatibilidad del cemento Portland.....	13
METODOLOGÍA.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIONES	16
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA.....	21

Tabla de Figuras

Figura 1. Interés científico en temas de implantes cerámicos	9
Figura 2. Estadísticas de artículos sobre biomateriales	9
Figura 3. Clasificación de los cerámicos dentales	11
Figura 4. Condiciones necesarias para la unión implante-hueso	12
Figura 5. Muestras de las mezclas con su respectiva cantidad de peróxido.....	14
Figura 6. – Evidencia de la elaboración de muestras para porosidad	15
Figura 7. Proceso de adecuación de la muestra.....	16
Figura 8. SEM a 2000x aumentos para las muestras 1-4.	17
Figura 9. – SEM a 500x aumentos para las muestras 1 y 4.	18
Figura 10. – SEM a 5000x aumentos para las muestras 1 y 4.	18

RESUMEN

El alto crecimiento de la población ha hecho que, en los últimos años, se haya incrementado la demanda de implantes, los cuales se han desarrollado a partir de materiales metálicos, sin embargo, debido a las desventajas inherentes de estos, se comenzaron a desarrollar implantes en el campo de los materiales cerámicos, alcanzando un mercado de cerca de 253 billones de dólares al año. Dichos materiales cerámicos cuentan con varias características básicas que les permiten ser implantes, tales como la biocompatibilidad, la osteoconductividad, fácil adherencia, porosidad, pH neutro, excelentes propiedades mecánicas entre otros.

Cuando se analiza este tema desde el contexto colombiano se encuentra una ausencia de aportes en el tema de implantes y sobre todo en implantes cerámicos, lo que permite identificar una oportunidad para desarrollar investigaciones que permitan aportar nuevas ideas, proponer nuevas formulaciones para resolver nuevos retos, mejorar implantes ya existentes, entre muchas otras posibilidades, todo esto con el único fin de lograr algunos avances para este tema tan importante en el mundo actual.

Por esas y muchas más razones, luego de realizar una vigilancia tecnológica en la base de datos SCOPUS, y tener varias charlas con expertos sobre el tema, se logró observar que el cemento de construcción o cemento Portland es una alternativa poco estudiada hasta ahora, por lo que se decidió validar si este material, efectivamente, es o no apto para ser usado en aplicaciones médicas. Para eso fue necesario estudiar todos los procesos que son llevados a cabo para que el cemento Portland cumpla con las características tanto mecánicas como biológicas que lo convierten en un material biocompatible.

Finalmente, ese es el fin de este proyecto, verificar si el cemento Portland puede ser usado como un implante cerámico, cuáles son sus ventajas y desventajas con respecto a los demás materiales usados hasta ahora, y que se puede hacer para mejorar su desempeño.

INTRODUCCION

El uso médico de ciertos materiales a la hora de remplazar partes de el cuerpo óseo para el tratamiento de distintos traumas y patologías es un tema el cual tiene importancia actual dentro del contexto clínico en el mundo. Aunque en el momento existen distintas técnicas y prótesis para el tratamiento de estas anomalías, como el uso de ciertos metales, aloinjertos y autoinjertos, los cuales se ha comprobado su correcto funcionamiento, contienen ciertas desventajas que pueden generar inconvenientes en su uso y en la recuperación del paciente (rechazo inmune, intrusión, transmisión de patógenos y alto costo). Así pues, se ha generado la necesidad de buscar nuevas formas de tratar este problema, de ahí naciendo el concepto y rama conocida como BTE (bone tissue engineering) la cual busca el uso de materiales biocompatibles para esta tarea, mediante la creación de andamios, uso de células y factores bioactivos que permitan una mayor facilidad y desempeño en la mejoría del paciente.

Siendo las características principales de estos materiales una resistencia mecánica suficiente para soportar el estrés que genere la compresión de la parte específica y una composición química y física que permita la biocompatibilidad y osteoconductividad de las células para su correcto asentamiento y crecimiento en la zona afectada, se conoce de estudios previos que los materiales cerámicos contienen adecuadamente estas propiedades. El semillero de investigación en materiales basándose en resultados anteriores de un estudio(cita) que busca caracterizar, conocer y comprender el uso del cemento portland para este tipo de aplicaciones, quiere corroborar y estudiar este material para fines de aprendizaje y académicos, identificando sus principales pros y contras y este como interacciona con el tejido óseo con sus diferentes composiciones.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, hay un alto crecimiento en el uso de implantes debido al aumento de la población de la tercera edad en un promedio anual del 5%. Esto se debe a las enfermedades que sufren este grupo de personas, tales como la osteoporosis, escoliosis degenerativa, entre otras [1]. En Colombia según el DANE, se ha observado cómo ha habido un aumento de la población mayor, con una proyección para el 2020 de un índice de envejecimiento del 49,8 % [2]. Este último dato evidencia como este grupo poblacional va cada vez en crecimiento lo cual a su vez incrementa la probabilidad de necesitar implante o prótesis.

Debido a las razones previamente mencionadas es que se desea realizar este proyecto pero centrándose en los materiales cerámicos en vez de en los metálicos, esto debido a que los primeros tienen como característica principal la facilidad de que los tejidos del cuerpo humano se adhieran a ellos, dicha característica es conocida como biocompatibilidad [3]. Además, a diferencia de los implantes fabricados con materiales metálicos, estos no van a sufrir de corrosión una vez se encuentren en contacto con los fluidos sanguíneos y corporales, evitando así, infecciones que pueden poner en riesgo la salud del paciente [5]. Otras propiedades favorables que poseen los materiales cerámicos frente a los metálicos son la osteoconductividad y bioactividad, las cuales se tratan más adelante. Es debido a esas características que los implantes de materiales cerámicos son una tendencia mundial en el ámbito médico, por los bajos costos de las materias primas para la construcción de estos, y la facilidad de obtención de los mismos [5]. Así mismo, estos materiales pueden ser diseñados con estructuras porosas controladas las cuales facilitan la integración de las células con el material permitiendo que este tenga la característica de biocompatibilidad entre los tejidos y los implantes [6].

Todas estas cualidades de los biomateriales anteriormente mencionadas llevan a que haya una alta demanda de estos en tratamientos ortopédicos, dentales y demás áreas de la medicina. Por ejemplo, en la ortodoncia se han tenido excelentes resultados tanto para implantes como para pegamentos. Incluso los materiales cerámicos que se usan en estas aplicaciones son implementados como recubrimientos en las prótesis metálicas, lo que ayuda a mejorar así diversas propiedades como lo son la adherencia al hueso y su compatibilidad con el mismo [7].

Es debido a la necesidad de nuevas alternativas para los implantes y a él gran potencial que mostraron los materiales cerámicos para las aplicaciones médicas en estudios anteriores que se decide llevar a cabo este proyecto.

JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la industria de los biomateriales para fines médicos ha incrementado enormemente su demanda, alcanzando un mercado de cerca de \$253 billones de dólares al año. Por esta razón es de suma importancia estar a la vanguardia con respecto al desarrollo de dichos materiales y de sus principales características, básicamente de sus propiedades mecánicas, su biocompatibilidad, sus bajos índices de corrosión en ciertos casos particulares e incluso lograr comportamientos similares a las partes naturales del paciente en que son implantados [8].

Los avances científicos y técnicos en esta área han dado grandes frutos, tales como la síntesis de nuevos materiales cerámicos con nuevos compuestos que le permiten al biomaterial tener mayor biocompatibilidad con el cuerpo, ser más duradero, resistente y efectivo, evitado así traumas e impedimentos en la rehabilitación del usuario.

Es precisamente por esta razón que el semillero de materiales de la universidad EAFIT ha decidido centrar sus esfuerzos no sólo en la investigación de los materiales ya existentes, sino también en tomar la iniciativa de identificar y conocer a profundidad los requerimientos y las técnicas de caracterización de estos, todo con el fin de seleccionar un material que tenga el potencial necesario para ser implementado en el cuerpo humano, fabricarlo, caracterizarlo y efectuar las pruebas necesarias para validar su desempeño y poder confirmar de esta manera, sí el material seleccionado es o no apto para su uso en aplicaciones médicas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar e implementar procesos experimentales adaptativos que mejoren las características del cemento portland como material para aplicaciones biomédicas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Caracterizar las propiedades estructurales de materiales sintetizados a base de cemento Portland y evaluar el efecto de la red de poros en la biocompatibilidad de los mismos.
- Evaluar el efecto del pH del cemento Portland y materiales de estudio fabricados a partir del mismo, sobre las características de biocompatibilidad.
- Identificar y seleccionar los procesos adaptativos que contribuyan a que los efectos adversos del cemento Portland sean mitigados y conduzcan a este material hacia características de biocompatibilidad.
- Implementar procesos adaptativos que mejoren las propiedades tanto mecánicas como biológicas del cemento Portland, para que este pueda ser utilizado en aplicaciones

MARCO TEÓRICO

En esta sección, se definen detalladamente los conceptos a tener en cuenta para el entendimiento y la ejecución de este proyecto, se hablara desde la clasificación y las características generales de los materiales cerámicos usados en aplicaciones médicas, hasta llegar a las características y propiedades relacionadas con el material escogido, pero primero se mostrara la vigilancia tecnológica que se realizó con el fin de conocer si el tema a investigar es o no oportuno de acuerdo con las necesidades actuales.

Vigilancia tecnológica

Al momento de efectuar esta vigilancia tecnológica se logró evidenciar que el tema de materiales cerámicos para aplicaciones médicas e implantes en general tiene un creciente interés científico. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa que la tendencia de estudio desde 1994 es de carácter creciente, donde en el 2010 está la mayor cantidad de artículos publicados y esta tendencia se conserva hasta los últimos años. Para la fecha se encentra en uno de los picos máximos de publicaciones a nivel general.

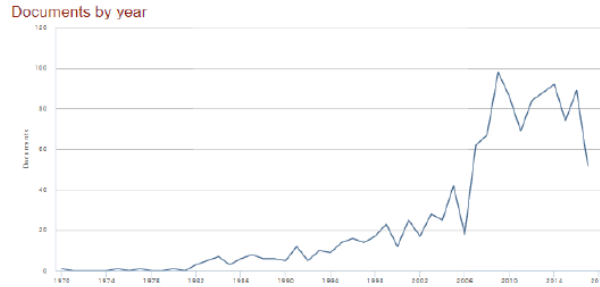


Figura 1. Interés científico en temas de implantes cerámicos

Además de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a la izquierda se puede evidenciar como Estados Unidos lleva la delantera en estos temas, teniendo un total de 191 documentos en los últimos 47 años. Además, se puede evidenciar en la misma figura que entre los 10 países que más aportan a este tema, Colombia no está presente, lo cual indica la importancia de consultar sobre el tema y apropiarlo al entorno colombiano. De la mano en la parte derecha se evidencia que, entre los 10 autores más reconocidos en el campo, nuevamente ninguno es colombiano, lo que evidencia nuevamente la importancia de que Colombia sea parte de este tema de investigación.

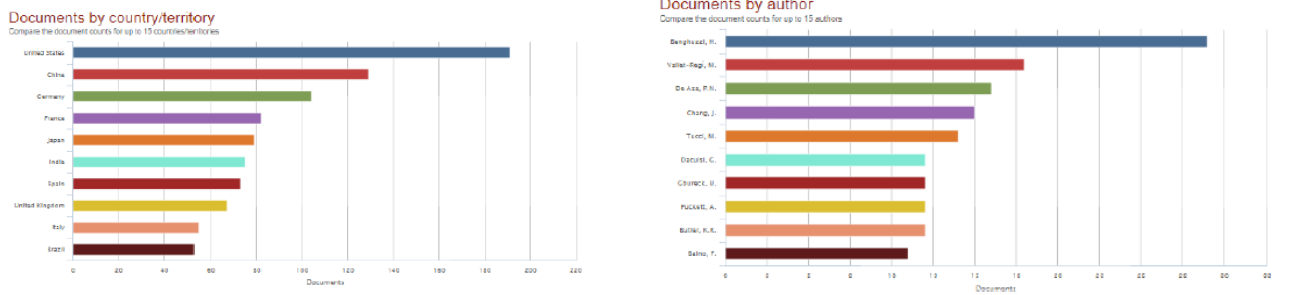


Figura 2. Estadísticas de artículos sobre biomateriales

Clasificación y aplicaciones de los materiales cerámicos.

Los biocerámicos son materiales ampliamente utilizados en aplicaciones de ortopedia, que cuentan con atributos como biocompatibilidad, alta resistencia tanto mecánica como a la corrosión, y no toxicidad. Su aplicación más común es en prótesis e implantes; estos últimos se dividen en tres grandes grupos que se explican a continuación:

1. **Bioinertes:** Son aquellos materiales cerámicos que no reaccionan químicamente con el cuerpo, son estructuras estables y, por ende, pueden permanecer por largos periodos dentro del cuerpo sin causar ningún tipo de daño. Sin embargo, se adhieren débilmente al hueso por medio de un tejido que el mismo sistema produce. Entre este tipo de cerámicos se encuentran la alúmina y la zirconia. Este tipo de materiales

tienen ciertas ventajas con respecto a los demás, como lo son su alta resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y alta tenacidad a la fractura.

2. **Biodegradables:** Son aquellos materiales cerámicos que se descomponen en el cuerpo, pero estimulan el crecimiento de tejido óseo a pesar de contar con una baja resistencia mecánica, razón que justifica que hayan sido descartados del mercado de la ortopedia. El ejemplo más conocido de este tipo de cerámicos es el fosfato beta-tricalcico (TCP).
3. **Bioactivos:** Estos materiales a diferencia de los bioinertes, tienen la capacidad de unirse directamente al hueso sin tener que generar tejido alrededor, lo más interesante de estos, es que, aunque no se degraden como los anteriores, si permiten que el hueso y el sistema continúen con sus funciones básicas. En esta categoría se encuentra uno de los materiales más usados hoy en día para el desarrollo de prótesis, la hidroxiapatita (HA), que es la que se encarga de unir el implante con el hueso, proporcionándole a esta unión un alto módulo de Young, logrando adherencias entre el hueso y el implante incluso de 5 a 7 veces mayor que las generadas entre los bioinertes y el hueso [8]

A continuación, la Tabla 1 presenta diferentes propiedades para la alúmina, la zirconia, la hidroxiapatita y el fosfato beta-tricalcico, con el fin de comparar las propiedades que estos presentan a la hora de ser usados en aplicaciones médicas.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de algunos materiales cerámicos

Propiedades mecánicas	Cerámicos bioinertes		Cerámicos bioactivos	Cerámicos biodegradables
	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	HA	TCP
Resistencia a la flexión (MPa)	595	1000	60-90	36-47
Tenacidad a la fractura (MPa.m ^{0.6})	4-6	7	0.60-0.95	0.40-0.80
Módulo de Young (GPa)	380-420	150-200	40-120	33-90

Los materiales cerámicos no son solo usados en implantes y prótesis como ya se había mencionado, estos también son muy utilizados para aplicaciones dentales y de ortodoncia, para estas aplicaciones, estos materiales se pueden dividir en tres grupos como se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

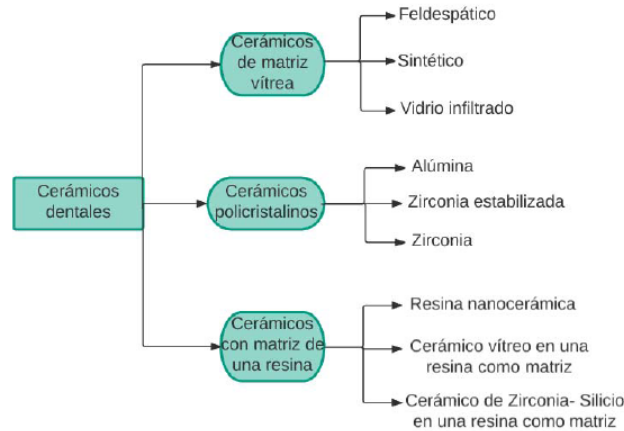


Figura 3. Clasificación de los cerámicos dentales

A continuación, se describen las tres categorías principales de los cerámicos dentales:

1. **Cerámicos de matriz vítrea:** Son materiales cerámicos formados por átomos no metálicos e inorgánicos que contienen una fase vítrea, lo que quiere decir que los átomos o iones no están ordenados, es decir que tiene una estructura no cristalina. Se divide en restaurativo y bioactivo.
2. **Cerámicos policristalinos:** Son muy similares a los cerámicos de matriz vítrea, pero se diferencian por el hecho de que los policristalinos no tienen la fase vítrea, por el contrario, estos poseen más de una estructura cristalina.
3. **Cerámicos con matriz de resina:** Son materiales compuestos por matrices poliméricas que contienen constituyentes inorgánicos y refractivos, es decir, que están constituidos por una matriz orgánica con cierta cantidad de partículas de cerámicos.

Características de los materiales cerámicos usados en aplicaciones médicas

Como ya se mencionó antes, los materiales cerámicos tienen numerosas características que los hacen mejores que los materiales metálicos, en cuanto a aplicaciones médicas se refieren, pero se debe de ser enfático en que no basta con que los materiales cerámicos tengan buena resistencia mecánica, entre otros, debido a que además es necesario que cualquier material que vaya a ser implementado en la medicina, o en el área de la salud cumpla con ciertos requisitos básicos para que se pueda hablar de un material biocompatible. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las tres características que mínimamente debe de cumplir un implante para asegurar su unión con el hueso.

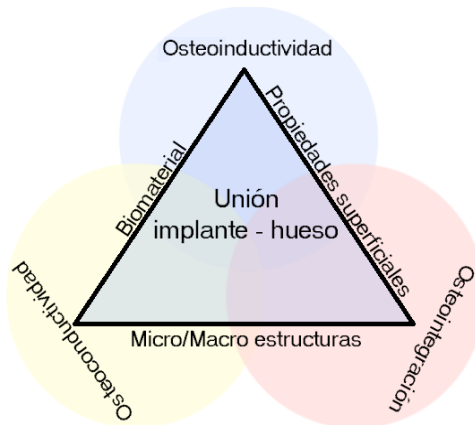


Figura 4. Condiciones necesarias para la unión implante-hueso

Ahora se hará una breve descripción de cada una de estas tres características a cumplir para asegurar una biocompatibilidad entre el implante y el hueso:

1. **Osteoconductividad:** Consiste en darle soporte estructural al hueso cuando se está formando o está en crecimiento. Los implantes fabricados con fosfato tricálcico cuentan con esta propiedad gracias a su porosidad y área superficial que hacen que a través de los poros se promueva el crecimiento de tejido óseo, para luego biodegradarse el material con los fluidos corporales.
2. **Osteoinductividad:** Se refiere, o habla de la fijación que poseen las células madre con el material, para que el cuerpo pueda, mediante esta unión, estimular el crecimiento de células óseas.
3. **Osteointegración:** Esta última, se define como el proceso en el que las células óseas se adhieren a la superficie del implante, lo que en ciertos casos, aumenta para bien las propiedades del material.

Es importante señalar que las tres características anteriores son las más relevantes, pero no las únicas que existen para que un material pueda ser biocompatible, la porosidad es otra característica que debe tener un implante, debido a que si el material no presenta estructuras porosas, las células no podrían implantarse en él, evitando de esta manera que se dé el proceso de Osteoconductividad. Por otra parte es muy necesario que el material que se vaya a introducir al cuerpo tenga un pH neutro, esto debido a que sin esta característica el material podría ocasionar más mal que bien, debido a que puede ocurrir la necrosis, es decir la muerte de las células que se encuentren en contacto con el material, o incluso zonas aledañas[9], es decir que el valor del pH del material es una propiedad determinante para el éxito o fracaso del material al momento de su aplicación, y es por eso que este informe se centra en describir un mecanismo que permite disminuir el pH del material seleccionado para que este sea apto en aplicaciones médicas.

Compatibilidad del cemento Portland

Ahora que se tienen claros los conceptos básicos que le permiten a un material cerámico ser compatible con el cuerpo humano, se explica el por qué se eligió al cemento Portland como material de estudio.

Aunque el cemento Portland justo después de su fabricación no es aplicable en áreas de la salud y la medicina, ya que posee una estructura poco porosa y un alto pH, características que como ya se mencionó antes son esenciales para un correcto desempeño del implante.

Es por esta razón que, si se deseara usar el cemento como material para fabricar los implantes, debe de ser necesario someterlo a diversos tratamientos que le permitan adquirir estas propiedades. El primero de ellos, y tal vez el menos complicado es la elaboración de los poros, la cual se efectúa mediante la mezcla del cemento con ciertas sustancias que permiten la adherencia de unos cristales de sal (NaCl) que al momento de ser retirados forma los poros en las muestras [10]. Por otro lado, es necesario efectuar un proceso de carbonatación que permite disminuir el pH del material, debido a que sin este proceso estos tendrían un pH de aproximadamente 12,5, lo que causaría la muerte de las células que estén en contacto con directo con el material seleccionado, es decir, sucedería la necrosis celular [11].

Es importante señalar que estas dos características previamente mencionadas tienen una directa relación con las demás características, un ejemplo de esto es la elaboración de los poros, ya que de esta depende el valor de la resistencia mecánica, y de los esfuerzos que puede lograr soportar el cemento una vez este sea implementado en el cuerpo humano

METODOLOGÍA

1. Proceso de experimentación para la generación de poros al cemento portland blanco tipo I.

Inicialmente se tiene que el porcentaje de cemento Portland y de agua (H_2O) es de 40% y 60% respectivamente en la mezcla que se desea generar, esto corresponde en gramos a 2,5g de cemento y 3,5g de agua para todas las muestras y se basa en las consideraciones de cantidad para las necesidades del experimento, así mismo se tiene que el porcentaje de cristales de NaCl (sal de cocina, cloruro de sodio) es de 12% que corresponde a 0,75g respecto a la mezcla. Los datos anteriormente presentados son datos constantes para todas las muestras, la variación se da en el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) como se muestra en la Tabla 2, donde a la muestra 1 no se le añade H_2O_2 , a la muestra 2 se le añade 2%, a la tercera 5%, a la cuarta 7,5% y finalmente a la quinta 10%.

Tabla 2. – Datos de la cantidad de H_2O_2 en cada una de las cinco muestras.

MUESTRAS					
1	2	3	4	5	
0	0.125	0.3125	0.4687	0.625	Cantidad de H_2O_2 (g)
0%	2%	5%	7.5%	10%	Porcentaje de H_2O_2 (g)

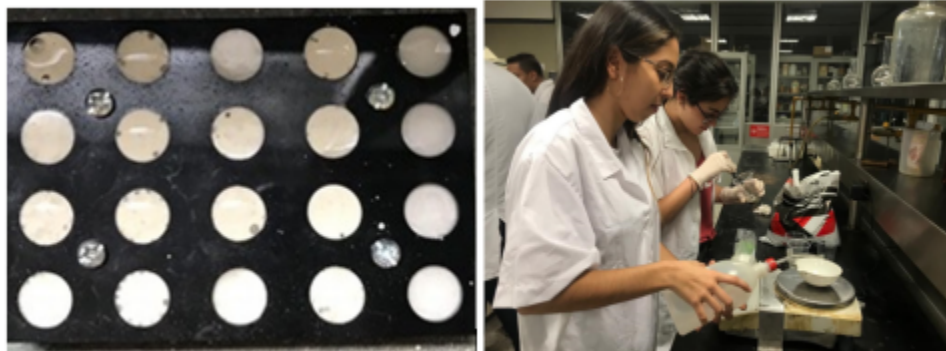
Para cada muestra se deben preparar las cantidades propuestas de cada componente, lo cual se realiza con ayuda de una balanza de tres dígitos con el fin de lograr precisión a la hora de pesar las sustancias, pues la relación hecha se basa en masa (porcentajes peso a peso, en el lenguaje común). Inicialmente se deposita la cantidad de agua y cemento portland blanco tipo I correspondiente en un beaker y se mezcla hasta que la sustancia esté homogeneizada durante 20 segundos, posteriormente se le añaden los cristales de NaCl y se mezcla de nuevo, finalmente se deposita la cantidad correspondiente de H_2O_2 para cada muestra y se homogeneiza por última vez para así introducir la sustancia a los moldes de acrílico. Se debe tener en cuenta que el tiempo de homogeneización de cada mezcla debe ser el mismo para reducir los factores de error en la práctica.



Figura 5. Muestras de las mezclas con su respectiva cantidad de peróxido.

Las muestras obtenidas se deben dejar reposar a temperatura ambiente durante tres días, para que el cemento fragüe y se solidifique, y así realizar los respectivos análisis. Adicionalmente, es importante anotar el tamaño de los moldes, que corresponden a una

placa de 10cm de largo y 7cm de alto, con agujeros de 10mm de diámetro y 3mm de alto, donde van las muestras, es decir que tienen un volumen de $235,6mm^3$. La rotulación para saber el contenido de peróxido se encuentra bajo de la placa, mostrada en la Figura 6(a).



(a) Muestras del cemento en sus moldes. (b) Captura del proceso llevado en el laboratorio de fenómenos químicos.

Figura 6. – Evidencia de la elaboración de muestras para porosidad

2. Construcción de muestras a gran escala para futuros ensayos mecánicos.

Una vez efectuadas las muestras descritas y analizados los resultados obtenidos en el numeral anterior, se procede a realizar las mismas muestras, con las mismas proporciones de peróxido y demás componentes en moldes metálicos de medidas: 7,5cm de radio y 20cm de altura. Adicionalmente, se realizaron muestras de control, donde no se agrega el agente espumoso (peróxido) para evaluar como quedan las estructuras porosas en la superficie del cemento.

Este proceso, se realiza con el fin de hacer futuros experimentos de resistencia de materiales como: fatiga, compresión y demás. Que permitan evidenciar las posibles ventajas o desventajas de las estructuras porosas de acuerdo a su aplicación en este material, promisorio en la biomédica.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. *Análisis y resultados cualitativos de la generación de poros con SEM.*

Luego del fraguado de las muestras, se prosiguió con el análisis de cada una en el microscopio electrónico de barrido que dispone la universidad EAFIT, con el fin de evaluar y comparar diferencias en cuanto a la adición o no de peróxido y la cantidad del mismo. Se inició realizando el proceso de adecuación de las muestras, usando cobre, por las propiedades del microscopio, y luego se insertaron en el dispositivo una a una las muestras en orden.



Figura 7. Proceso de adecuación de la muestra

A simple vista, se podía observar que había poros de tamaños considerables a escala milimétrica y que las muestras eran débiles al tacto mientras mayor concentración de peróxido tenían.

La muestra número 5, que correspondía a una cantidad añadida de peróxido del 10%, no fue posible evaluarla, debido a que los poros generados eran de un tamaño excesivo y se desmoronaba progresivamente, esto con el fin de evitar la contaminación del microscopio. Las demás muestras evidenciaron el éxito de la prueba, pues en escalas de aumento 500, 1000 y 2000, fue posible verificar que había diferencias considerables de forma, tamaño y porosidad.

El interés de esta práctica se centró en constatar que el proceso de generación de poros con cristales de sal como agente porogénico, y el peróxido de hidrógeno como agente espumoso, podía brindar resultados satisfactorios, que no implicaran de entrada un perfeccionamiento de la técnica. Debe ser claro, que, por medio del SEM, fue posible analizar cualitativamente la evolución de las muestras según el porcentaje de peróxido y a una escala micrométrica, ignorando las porosidades milimétricas en esta práctica. Es por eso que el análisis cuantitativo, como el tamaño de poros en la literatura, difiere de los que se mostrarán más adelante, por temas de escala. Sin embargo, esto se pretenderá estudiar a fondo en investigaciones posteriores.

Como se observa en la Figura 8. SEM a 2000x aumentos para las muestras 1-4. Figura 8 (2000 aumentos), la muestra 1 (Figura 8a) presenta una estructura más desordenada, es decir, amorfa, y presenta porosidad poco consistente, pequeña y confusa, mientras que en la muestra 4 (Figura 8d), que tiene un porcentaje de peróxido añadido considerable (7.5% de H₂O₂), se ve una reorganización en las celdas cristalinas, lo cual genera poros estilizados y de mayor tamaño. Véase que en la muestra 3 (Figura 8c), también es posible evidenciar una aglomeración mejor debido al actuar del peróxido.

Mientras que en la muestra 1, no se ven cavidades de gran tamaño, en la muestra 4, se observa un gran agujero del orden de 60µm, es así, como se puede comprobar lo que se esperaba sucediera.

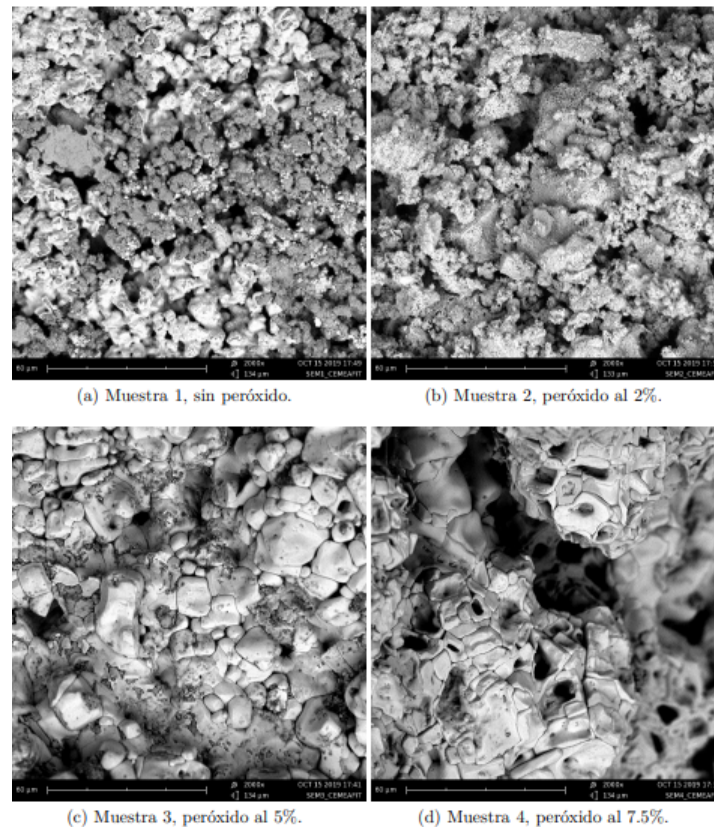


Figura 8. SEM a 2000x aumentos para las muestras 1-4.

Seguidamente, se exponen las muestras 1 y 4, las cuales por tener la mayor diferencia en el valor agregado de peróxido (0% y 7.5% H₂O₂), se pueden comparar contundentemente, facilitando la demostración y la validación del método. En la Figura 9, las imágenes del SEM, están a 500x aumentos, con un largo de recuadro de 513µm aproximadamente. Se evidencian diferentes tonalidades, que corresponden a aglomeraciones de material, pues el peróxido de hidrógeno genera recubrimientos y en las zonas grisáceas es factible que este no se haya añadido correctamente, debido a la falta de precisión en la técnica o factores diversos.

Ahora bien, detallando la Figura 9a, la apariencia es más granulosa, áspera y sus elementos visibles son de menor tamaño y poco claros, en contraposición a la Figura 9b, que se observa más lisa, plana y con elementos mejor definidos.

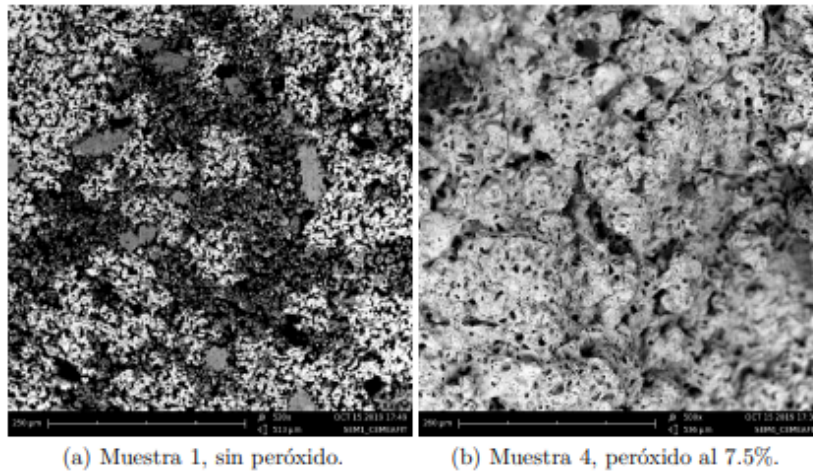


Figura 9. – SEM a 500x aumentos para las muestras 1 y 4.

Finalmente, se muestra comparativamente la muestra 1 y 4 en SEM nuevamente, pero ahora a 5000x aumentos, con el fin de ver a un tamaño de imagen aproximado de 53.6 μm la estructura.

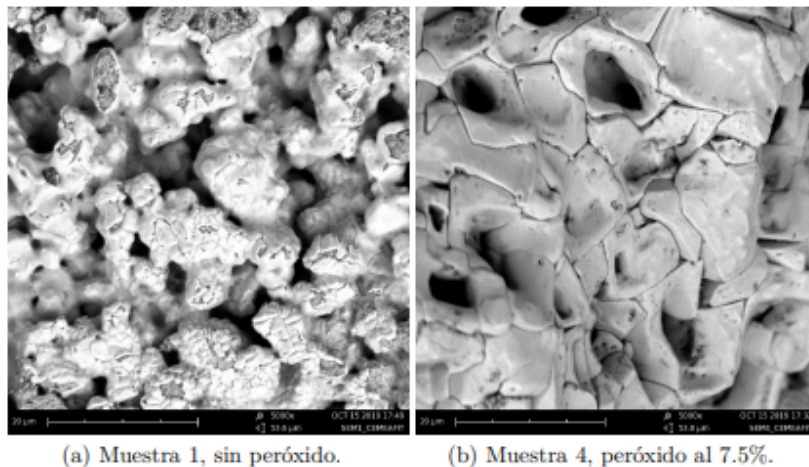


Figura 10. – SEM a 5000x aumentos para las muestras 1 y 4.

Aquí, se nota con mayor claridad lo que se ha venido discutiendo a lo largo del informe, una nítida diferencia en la organización de los componentes del cemento cuando se añade peróxido. Lo cual es un resultado fundamental en la práctica, mostrando que la técnica usada si corresponde con lo esperado.

2. *Construcción de las muestras a gran escala.*

Seguido al análisis cualitativo de la generación de poros, se construyen las muestras en los moldes descritos previamente. Como se mencionó, se utilizan diversas proporciones de peróxido, pero manteniendo las mismas de agua, cemento y sal. A continuación, en la Figura 11 se muestran los resultados obtenidos.



Figura 11. Muestras a gran escala

CONCLUSIONES

- La adición de peróxido de hidrógeno como agente espumoso en el proceso de generación de poros, hace que el cemento adquiera una estructura más organizada y con elementos más definidos.
- La técnica que se usó para la generación de poros brindó resultados positivos, no obstante, es importante perfeccionarla, con el fin de obtener el tamaño de poros a escala milimétrica esperado y sin comprometer las propiedades mecánicas del cemento portland, para que sea efectivo a la hora de usarlo en la biomedicina.
- Según las referencias consultadas y estudiadas se determinó un factor muy importante del cual depende la generación de poros en cualquier material con peróxido de hidrógeno, este factor es el porcentaje volumétrico de H₂O₂, es decir, el peróxido de hidrógeno está compuesto por una concentración específica y porcentual de H₂O₂ y el sobrante es agua destilada, debido a que este factor no se tuvo en cuenta a la hora de hacer la PNE, se propone para próximos proyectos enfocados al mismo tema hacer un análisis de cómo se comportan los poros de las muestras con respecto a la cantidad volumétrica porcentual de peróxido.
- En este informe se optó por analizar una pequeña zona que hace parte del estudio del cemento portland para la biomedicina, por tanto, no es posible asegurar que este material sirve como "andamio" en el proceso de sanación del tejido óseo. Empero, los resultados obtenidos pueden ser base de investigaciones posteriores en este campo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Z. Xiao, Z. Wang, B. Yang, and X. Zhang, "Bioceramiccaffolds," pp. 151-182.
- [2] Ministerio de Salud y Protección Social, "Envejecimiento Demográfico. Colombia 1951-2020 Dinámica Demográfica Y Estructuras Poblacionales," p. 48, 2013.
- [3] R. Wang, X. He, Y. Gao, X. Zhang, X. Yao, and B. Tang, "Antimicrobial property, cytocompatibility and corrosion resistance of Zn-doped ZrO₂/TiO₂ coatings on Ti6Al4V implants," *Malet. Sci. Eng. C*, 2017.
- [4] L. Gil, V. Maizo, and E. Dominguez, "Análisis de las causas de las fallas de los implantes metálicos utilizados en cirugía ortopédica y traumatológica en failure analysis of metal implants utilized in orthopedic and traumatological," *Universidad, Cienc y Tecnol*, vol. 3, pp. 19-24, 1997.
- [5] N. M. Supelano et al, "Materiales de origen natural para uso biomédico," *Medicas UIS*, vol. 9, no. 7, pp. 3095-3099, 2013.
- [6] M. Antonio, V. Peña, D. Alexander, and G. Alvarado, "ARTICULO EN REVISIÓN Implantes scaffolds para regeneración ósea. Materiales, técnicas y modelado mediante sistemas de reacción-difusión Scaffolds implants for improving for the bone regeneration. Materiales, techniques and modeling by means of reaction-diffusion systems," vol. 29, no. 1, pp. 1-11, 2016.
- [7] E. M. Ramiez, A. Q. Garcés, G. De, and R. Orea, "Síntesis y análisis de la biocompatibilidad y osteoconductividad de un composito," pp. 119-124, 2011.
- [8] J. Basirun, S. Baradaran, and B. Nasiri-Tabrizi, "Hydroxyapatite-Graphene Composite as Advanced Bioceramics for Orthopedic Applications," pp. 473-502.
- [9] M. Lizarbe, "El suicidio y la Muerte Celular," Vol. 101, no. 2, 2007.
- [10] D. Gallego, N. Higueta, F. Garcia, D. Hansford, E. Lopez, "fabricación de estructuras porosas en cemento portland: potencial aplicación como sustituto óseo portante de cargas biomecánicas".
- [11] D. Gallego, N. Higueta, F. Garcia, O. Posada, L. Lopez, A. Litsky, D. Hansford, "Portland cement for bone tissue engineering: Effects of processing and metakaolin blends."