

**MODIFICACIÓN DE ESPUMAS CERÁMICAS DE CARBÓN VÍTREO
RETICULADO-BIOVIDRIO CON CHITOSÁN PARA SU POTENCIAL
APLICACIÓN EN INGENIERÍA DE TEJIDO ÓSEO**

**CARLOS DANIEL RUEDA MARTÍNEZ
YEILLY SMITH BUITRAGO MANRIQUE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
BUCARAMANGA**

2019

**MODIFICACIÓN DE ESPUMAS CERÁMICAS DE CARBÓN VÍTREO
RETICULADO-BIOVIDRIO CON CHITOSÁN PARA SU POTENCIAL
APLICACIÓN EN INGENIERÍA DE TEJIDO OSEO**

**CARLOS DANIEL RUEDA MARTÍNEZ
YEILLY SMITH BUITRAGO MANRIQUE**

**Trabajo de grado, (Modalidad, proyecto de investigación) para optar al título
de Ingeniero Metalúrgico**

Director(a)

**ELCY MARÍA CÓRDOBA TUTA
Ph.D. Ciencia y Tecnología de Materiales**

Codirector(a)

**DIEGO FERNANDO HERNÁNDEZ PARDO
Ing MSc. Ingeniería de Materiales**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
BUCARAMANGA**

2019

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de Guadalupe por bendecirme día a día con su infinito amor y por haberme permitido entender que a pesar de las dificultades nunca es tarde para lograr las metas, de la mano de ellos por fin culmino esta etapa de mi vida.

A mis padres Abelardo Buitrago R. mi motor y fortaleza y Luz Marina Manrique mi luz en el camino y mi corazón, gracias por la vida, por el amor y el apoyo, soy lo que soy gracias a ellos, son los mejores padres los amo y definitivamente nacería de nuevo siendo su hija.

A mi hermano Abelardo Buitrago M. y a mi sobrina Eliane Buitrago R. a pesar de la distancia siempre los llevo en mi corazón.

A mi tío Ivan Buitrago R. por sus consejos, quererme y por ser mi segundo padre.

A mi compañero inseparable de vida Giovanny Rey por su apoyo y amor incondicional, a él le debo esta gran decisión de convertirme en Ingeniera Metalúrgica.

A mis amigos Sergio Cogollo, Carlos Zafra, Edgardo Saavedra, Yeraldi Cogollo, Alexis Castillo, Duván Rodríguez, Oscar Calixto, Cesar Castro y a las personitas que de alguna u otra forma me llenaron de buenos recuerdos en Química.

A Carlos Rueda mi compañero de proyecto por ser mi complemento en esta última etapa de la vida universitaria.

A mis angelitos en el cielo mis abuelos y tíos mis más grandes protectores.

Yeilly Smith Buitrago Manrique

*A la vida por haberme permitido culminar esta etapa.
Carmen Niño Moreno, por ser mi padre y madre, por haberme acogido cuando fui
muy vulnerable, por su crianza, por su infinito amor, por su resiliencia, por su
apoyo incondicional, por ser Mi Magnolia de Acero. Fuiste, eres y serás lo mejor
que me pudo haber pasado.
María y Claudia Jaimes Rueda, por ser parte fundamental de mi vida, por su
cariño y enseñanzas, por creer en mí, por su sinceridad y confianza, ocupan un
lugar muy importante en mi corazón.
Loren Sofía Rueda, mi amorosa e inteligente hermana por su compañía en sus
primeros doce años de vida.
Ana Rueda, mi tía incondicional, por quererme y por su apoyo constante en esta
etapa.
Yeilly Smith Buitrago, mi compañera de proyecto, por ser la expresión más
fidedigna de empatía y cariño, por haber caminado junto a mí en esta etapa tan
importante de mi vida, por haberme escuchado cuando de experimentos
pasábamos a la realidad de nuestras vidas.
Diana María Montaña, por su hermandad, por estar ahí cuando estuve en pie y
cuando caí, por su cariño incondicional, por los momentos compartidos, por su
comprensión.
Alejandro Lozano, Laura Solano y Ferney Amado por su amistad durante la etapa
universitaria.*

Daniel Rueda...

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Elcy María Córdoba Tuta por su confianza y apoyo incondicional para el desarrollo del presente trabajo.

Al Ingeniero Diego Hernández por haber compartido sus conocimientos y guiado en este proceso.

A la Ingeniera Mayerly Fernández por su importante colaboración.

De igual manera, agradecer al grupo de investigación GIMAT y a las personas que lo conforman, quienes contribuyeron positivamente para el desarrollo y culminación de la presente tesis. Así como a los técnicos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica Ambrosio, Sergio y Mario.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	20
2.1 FABRICACIÓN DE ESPUMAS CVR	20
2.2 MODIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS CVR CON BIOVIDRIO	20
2.2.1 Metodología para obtención de recubrimientos de biovidrio sobre las espumas CVR.	21
2.3 MODIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS CVR-BIOVIDRIO CON CHITOSAN.....	22
2.3.1 Desarrollo de la metodología para la obtención de recubrimiento de chitosán sobre las espumas CVR/biovidrio.	22
2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LAS ESPUMAS.....	23
2.5 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE APATITAS	23
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	25
3.1 OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ESPUMAS CVR RECUBIERTAS CON BIOVIDRIO	25
3.1.1 Curva de gelificación del sol de biovidrio.	25
3.1.2 Espectros infrarrojos.	26
3.1.3 Micrografías espumas CVR/Biovidrio.	29
3.1.4 Resistencia a la compresión.	31
3.2 MODIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS CVR/BIOVIDRIO CON CHITOSÁN.....	33
3.2.1 Espectros infrarrojos.	33
3.2.2 Micrografías espumas CVR-Biovidrio/chitosán.	34

3.2.3 Caracterización mecánica.....	36
3.3 PRUEBAS DE REACTIVIDAD DE LAS ESPUMAS EN FLUIDO FISIOLÓGICO SIMULADO (SBF).....	39
3.3.1 Análisis SEM de las espumas sintetizadas y sumergidas en fluido fisiológico simulado.	39
3.3.2 Espectros de infrarrojo.....	42
4. CONCLUSIONES	44
5. RECOMENDACIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS.....	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Espesores de los recubrimientos de biovidrio depositados en las espumas CVR.	31
Tabla 2. Propiedades mecánicas (n=8) de las espumas CVR sin modificar y modificadas con 1,2 y 3 capas de biovidrio.....	32
Tabla 3. Espesores de los recubrimientos de chitosán depositados en las espumas CVR/biovidrio.	36
Tabla 4. Propiedades mecánicas (n=8) de las espumas CVR/biovidrio 3 capas y modificadas con una capa de chitosán de concentración 1,3 y 5 % p/v.	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Curva de viscosidad vs tiempo para sol de biovidrio.....	25
Figura 2. Espectros F-TIR del sol de biovidrio a diferentes tiempos de gelificación luego del envejecimiento a 60°C.....	27
Figura 3. Espectros FT-IR de la espuma CVR original y modificadas con 1, 2 y 3 capas de Biovidrio.....	28
Figura 4. Micrografías ópticas de las espumas CVR y CVR modificadas con 1, 2 y 3 capas de sol de biovidrio. (a-c-e-g) 70X; (b-d-f-h) 140X.	29
Figura 5. Micrografías SEM de la espuma CVR sin modificar y modificada con 3 capas de recubrimiento de sol de biovidrio. (a-c) 100X; (b-d) 400X	30
Figura 6. Espectros FT-IR de las espumas CVR modificadas con biovidrio y biovidrio/chitosán al 1,3 y 5% p/v.....	34
Figura 7. Micrografías SEM de las espumas modificadas con 3 capas de recubrimiento de sol de biovidrio y una capa de soluciones de chitosán con concentraciones de 1, 3 y 5% p/v (b-c-d).	35
Figura 8. Micrografías SEM de las espumas antes de inmersión en SBF (Izquierda) y después de inmersión por un tiempo de 7 días (Derecha). (a-b-c-d-e-f-i-j-k-l) 2000X y (g y h) 10000X.	41
Figura 9. Micrografías SEM de las espumas sin modificar y modificadas después de un tiempo de 7 días de inmersión en fluido fisiológico.	42

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Micrografía óptica de los espesores de los ligamentos de las espumas CVR y CVR modificadas con biovidrio y biovidrio-chitosan.	53
Anexo B. Curvas esfuerzo-deformación de las espumas CVR y CVR modificadas con (1, 2 y 3) capas de biovidrio.	54
Anexo C. Curvas esfuerzo-deformación de las espumas CVR modificadas con biovidrio y biovidrio- solución de chitosán al 1, 3 y 5% p/v.....	54
Anexo D. Espectros EDS de la espuma CVR sin modificar y modificadas con biovidrio y biovidrio-chitosan antes de inmersión en SBF (a) y después de inmersión por un tiempo de 7 días (b).....	56
Anexo E. Espectros FT-IR de las espumas sin modificar y modificadas con biovidrio y chitosán antes y después de inmersión por un tiempo de 4 días en SBF(a) Espuma CVR, (b) Espuma CVR/3CBV, (c, d, e) Espumas CVR modificada con solución 1, 3 y 5 % p/v de chitosán.....	59

RESUMEN

TÍTULO: MODIFICACIÓN DE ESPUMAS CERÁMICAS DE CARBÓN VÍTREO RETICULADO-BIOVIDRIO CON CHITOSÁN PARA SU POTENCIAL APLICACIÓN EN INGENIERÍA DE TEJIDO OSEO*

AUTORES: YEILLY SMITH BUITRAGO MANRIQUE Y CARLOS DANIEL RUEDA MARTÍNEZ**

PALABRAS CLAVES: ESPUMAS CVR, RECUBRIMIENTOS, BIOVIDRIO, CHITOSAN, SBF.

DESCRIPCIÓN:

En este trabajo se realizaron modificaciones de las espumas de carbón vítreo reticulado recubriéndolas con biovidrio variando el número de capas depositadas (1, 2 y 3) con composición de 65 % SiO_2 , 5 % P_2O_5 y 30% CaO utilizando el método sol-gel y con biovidrio-chitosán con concentraciones de la solución polimérica de 1, 3 y 5% p/v, lo anterior con el fin de mejorar las características bioactivas y mecánicas de las espumas CVR. Los recubrimientos de biovidrio y biovidrio-chitosán fueron caracterizados mecánicamente evaluando su resistencia a la compresión y morfológicamente realizando el análisis por medio de Microscopía óptica y Microscopía electrónica de barrido (SEM). Se evaluó la capacidad de formación de apatitas de los sistemas CVR/biovidrio y CVR/biovidrio-chitosán mediante ensayos de inmersión en solución de fluido corporal simulado (SBF). Los resultados obtenidos evidenciaron que a medida que aumenta el número de capas de biovidrio aumenta la deposición del recubrimiento, pero este a su vez disminuye las propiedades mecánicas de las espumas CVR, estas propiedades mecánicas se vieron mejoradas con el aumento de la concentración de la solución polimérica de chitosan. Los estudios de inmersión en SBF demostraron la reactividad de los andamios CVR/biovidrio y CVR/biovidrio/chitosán, así como el carácter inerte de las espumas CVR no modificadas.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingeniería fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Director: PhD. Elcy María Córdoba Tuta. Codirector: MsC. Diego Hernández Pardo

ABSTRACT

TITLE: MODIFICATION OF RETICULATED VITREOUS CARBON CERAMIC FOAMS - BIOGLASS WITH CHITOSAN FOR ITS POTENTIAL APPLICATION IN OSEO FABRIC ENGINEERING *

AUTHORS: YEILLY SMITH BUITRAGO MANRIQUE AND CARLOS DANIEL RUEDA MARTÍNEZ **

KEY WORDS: CVR FOAMS, COATINGS, BIOGLASS, CHITOSAN, SBF.

DESCRIPTION:

In this work, modifications of the reticulated vitreous carbon foams were made by coating them with bioglass by varying the number of deposited layers (1, 2 and 3) with a composition of 65% SiO₂, 5% P₂O₅ and 30% CaO using the sol-gel method and with biovidrio-chitosan with polymer solution concentrations of 1, 3 and 5% w / v, so that to improve the bioactive and mechanical characteristics of CVR foams. The bioglass and bioglass-chitosan coatings were characterized mechanically evaluating their compression strength and morphologically performing the analysis by using optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM). Apatite formation capacity of the CVR / bioglass and CVR / bioglass-chitosan systems was evaluated by immersion tests in simulated body fluid solution (SBF). The results obtained showed that as the number of layers of bioglass increases the deposition of the coating increases, but on the other hand decreases the mechanical properties of the CVR foams, these mechanical properties were improved with the increase in the concentration of the chitosan polymer solution. Immersion studies in SBF demonstrated the reactivity of the CVR / biovidrio and CVR / bioglass / chitosan scaffolds, as well as the inert character of the unmodified CVR foams.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingeniería fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Directores: PhD. Elcy María Córdoba Tuta. Codirector: MsC. Diego Hernández Pardo

INTRODUCCIÓN

Una de las principales líneas de la ingeniería de tejidos lo constituye el tratamiento y regeneración de tejido óseo a partir de materiales naturales y sintéticos. Las prótesis naturales u orgánicas presentan gran compatibilidad con el cuerpo humano para ser usadas en la regeneración de tejidos blandos y duros. Sin embargo, pueden transmitir enfermedades degenerativas al contacto con tejido óseo en buen estado, así como limitación en la obtención de las mismas. En aplicaciones de regeneración o reemplazo de tejido duro donde las propiedades mecánicas de los implantes es uno de los criterios más importantes para el desempeño, es posible encontrar algunos metales y aleaciones adecuados por su resistencia y tenacidad, aunque no presentan biodegradabilidad durante el tiempo de incubación ni formación de tejido nuevo¹.

En las últimas décadas, la ingeniería de tejido óseo ha centrado su atención en materiales no metálicos, tales como: cerámicos, polímeros y compuestos, dado que estos materiales no representan toxicidad alguna durante su implante, incubación y respectiva degradación². Con base en lo anterior surge la necesidad de construir un implante que sea resistente, funcional y cuya estructura sea muy similar a la presente en el tejido óseo. La fabricación de andamios de carbón vítreo reticulado se ha convertido en un tema de investigación debido a su estructura muy porosa interconectada que simula las funciones del tejido en términos de estructura y funcionalidad. Si bien, las espumas CVR no son biodegradables, permiten la adherencia celular y posterior restauración del hueso. Cabe resaltar el poco estudio

¹ GIRALDO. O. Vidrio bioactivo: antecedentes, tendencias y prospectivas. Colombia y el mundo, 2016, no.9, pp. 41–52.

² QUIROGA, Gisela et al. Fabricación de recubrimientos compuestos de Bioglass®/poli(ε-caprolactona) obtenidos por co-deposición electroforética sobre acero inoxidable. Rio de Janeiro: Materia, 2018, vol. 23, no. 2, e12097.

realizado hasta hoy sobre los andamios de CVR que puedan definir su aplicación en tejido³.

Se han desarrollado materiales cerámicos, tal como los biovidrios, los cuales cumplen a cabalidad la función de bioactividad, debido a que tienen la capacidad de enlace con los tejidos del cuerpo humano permitiendo la formación de hidroxiapatitas que en consecuencia le confieren propiedades de osteoconductividad, osteoinductividad, y la reabsorción del vidrio bioactivo. No obstante, estos vidrios a base de silicatos presentan poca resistencia mecánica en comparación al tejido óseo, limitando sus aplicaciones a materiales de relleno o de recubrimiento sobre matrices estructuralmente idóneas⁴. Sin embargo, para aprovechar las ventajas de los vidrios bioactivos y considerando su debilidad, se han desarrollado estudios con miras a mejorar su resistencia mecánica y tenacidad destacándose el uso de polímeros sintéticos y naturales para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas⁵. Si bien, los polímeros sintéticos pueden mostrar mejor comportamiento cuando se recubre el relleno o recubrimiento de vidrio bioactivo, la fabricación de los polímeros sintetizados utiliza solventes que pueden llegar a hacer daño en las células huésped del tejido debido a su naturaleza tóxica⁶. Con base en lo anterior, se ha hecho más atractivo el uso de polímeros naturales sin presencia de solventes potencialmente tóxicos. Recientemente investigadores como Motealleh et al.⁷, han demostrado que los polímeros naturales pueden mejorar tanto la bioactividad como la resistencia mecánica de la matriz biocerámica.

³ TERÁN, N. Desarrollo de andamios de carbón vítreo reticulado de celda poliédrica a partir de sacarosa para aplicaciones de ingeniería de tejido óseo. Universidad Industrial de Santander, 2018.

⁴ GIRALDO, Óp. Cit.

⁵ EQTESADI, Siamak; MOTEALLEH, Azadeh; PAJARES, Antonia; GUIBERTEAU, Fernando; y MIRANDA, Pedro. Influence of sintering temperature on the mechanical properties of ϵ -PCL-impregnated 45S5 bioglass-derived scaffolds fabricated by robocasting. Journal of the European Ceramic Society, 2015, vol. 35, no. 14, pp.3985-3993.

⁶ LI, J.J.; et al. Multiple silk coatings on biphasic calcium phosphate scaffolds: effect on physical and mechanical properties and in vitro osteogenic response of human mesenchymal stem cells. Biomacromolecules, 2013, vol 14, pp. 2179-2188.

⁷ MOTEALLEH, *et al.* Óp. Cit.

Con base en lo anterior, el alcance del presente trabajo fue fabricar espumas de carbón vítreo reticulado modificadas con biovidrio y chitosán con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y de bioactividad.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar espumas de carbón vítreo reticulado (CVR) modificadas con biovidrio y quitosan como estrategia para mejorar sus propiedades bioactivas y mecánicas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener espumas CVR con característica morfológicas similares a las del hueso humano y determinar sus propiedades mecánicas y bioactivas.
- Evaluar el efecto del biovidrio en las propiedades mecánicas y bioactivas de las espumas de carbón vítreo reticulado.
- Estudiar la influencia del quitosán en las propiedades mecánicas y bioactivas de las espumas de carbón vítreo reticulado – biovidrio.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en 5 etapas, las cuales se describen a continuación.

2.1 FABRICACIÓN DE ESPUMAS CVR

Las espumas CVR se obtuvieron utilizando el método de réplica sobre plantillas de sacrificio, empleándose esponjas comerciales de poliuretano de densidad 30, cortadas en cubos de 1,5 cm de lado, impregnándolas en una resina de sacarosa la cual se obtiene de una solución de sacarosa con concentración 0.4g/mL y 2×10^{-3} N de HNO₃, manteniéndose en la estufa a 70°C durante 48 horas. Siendo esta resina la precursora de las espumas CVR. Luego de la impregnación de la esponja con la resina, el exceso de esta se retira mediante la extrusión de la esponja impregnada en una cilindadora. La temperatura de carbonización a la cual fueron sometidas las espumas fue de 1000°C bajo atmósfera inerte de N₂, con calentamiento a una velocidad de 5°C/min y con un tiempo de sostenimiento de 1 hora, dicho procedimiento se basó en la metodología desarrollada previamente en el grupo de investigación GIMAT⁸.

2.2 MODIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS CVR CON BIOVIDRIO

La primera modificación de las espumas consistió en depositar el biocerámico (biovidrio) en la superficie de los ligamentos de las espumas CVR por medio del método sol-gel, siguiendo el protocolo descrito a continuación:

⁸ TERÁN, Óp. Cit.

En primer lugar se ajustó una metodología para preparar biovidrio utilizando como precursores tetraetilortosilicato (TEOS), nitrato de calcio tetrahidratado ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y trietil fosfito (TEP) obteniéndose una composición de 65 % SiO_2 , 5 % P_2O_5 y 30% CaO , esto basado en los trabajos de grado de S. Quiroga, 2011 y D. Niño, 2017⁹⁻¹⁰. Con el fin de fijar un rango de viscosidades adecuado para realizar los recubrimientos, y que estos a su vez presentaran la menor cantidad de defectos, se determinó la curva de gelificación del sol de biovidrio. El comportamiento de la curva refleja la variación de la viscosidad promedio de 3 medidas en función al tiempo después del calentamiento del sol (envejecimiento) a 60°C, la determinación de las viscosidades se realizó utilizando un viscosímetro marca Brookfield modelo LVDV-II. A partir de la curva de gelificación se determinó el tiempo de envejecimiento del sol más adecuado para la obtención de los recubrimientos.

2.2.1 Metodología para obtención de recubrimientos de biovidrio sobre las espumas CVR. Previamente a realizar la deposición del biorecubrimiento, las espumas CVR fueron sometidas a un pretratamiento donde se sumergieron en acetona, posteriormente en solución acuosa de ácido sulfúrico 1M y nuevamente en acetona, por media hora cada inmersión con el fin de favorecer su hidrofiliidad. La espuma CVR se sumergió en el sol dentro de una cámara de vacío durante un tiempo de 15 minutos, con el fin de asegurar la penetración del líquido en el interior de la estructura porosa de la espuma. Posteriormente, el exceso de sol se retiró exponiendo la espuma recubierta con el sol a un proceso de rotación a 2000 RPM durante 60 s por medio de la técnica “Spin Coating”. Esto siguiendo el protocolo planteado por Zhang et al.¹¹. Finalmente, las espumas recubiertas se trataron

⁹ QUIROGA, S. *Efecto de la composición de los recubrimientos mixtos de biovidrio/TiO₂ en sus características bioactivas*. Universidad Industrial de Santander, 2011.

¹⁰ NIÑO, D. *Reforzamiento de espumas de carbón vítreo utilizando recubrimientos de biovidrio fabricados por el método sol-gel*. Universidad Industrial de Santander, 2017.

¹¹ ZHANG, H., et al. Coating of open cell foams. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2012, vol. 51, no. 27, pp. 9250–9259.

térmicamente a 700°C, aplicando una rampa de calentamiento de 3°C/min y 1 hora de sostenimiento bajo atmosfera inerte de N₂ con flujo de 0,15 mL/min.

Con el fin de evaluar el efecto del espesor de los recubrimientos de biovidrio en las propiedades físico-mecánicas y bioactivas de las espumas CVR/biovidrio, se desarrollaron recubrimientos con 1,2 y 3 capas del sol de biovidrio con viscosidad entre 3 y 5 cP. La morfología, resistencia a la compresión y reactividad in vitro de las espumas CVR/biovidrio se evaluó tal como se especifica en los numerales 2.4 y 2.5. Tal caracterización permitió seleccionar el recubrimiento más adecuado para continuar con la evaluación de la segunda modificación de las espumas, con chitosán.

2.3 MODIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS CVR-BIOVIDRIO CON CHITOSAN

La segunda modificación consistió en depositar una capa del polímero natural en la superficie de las espumas CVR/Biovidrio previamente seleccionadas. El protocolo utilizado se describe a continuación:

2.3.1 Desarrollo de la metodología para la obtención de recubrimiento de chitosán sobre las espumas CVR/biovidrio. Las soluciones poliméricas de chitosán se prepararon siguiendo el procedimiento desarrollado por Motealleh et al., 2018¹². En la presente investigación se utilizó chitosán marca Aldrich. Brevemente, el procedimiento consistió en disolver las cantidades adecuadas del polímero en una solución acuosa al 2% v/v de ácido acético bajo agitación magnética a 60°C, se prepararon concentraciones de solución de chitosán de 1, 3 y 5 % p/v. Las espumas CVR/biovidrio se recubrieron con una capa de solución de chitosán mediante el proceso de inmersión – extracción. Las espumas se mantuvieron sumergidas en la solución durante un tiempo de 15 minutos dentro de una cámara de vacío, con el fin

¹² MOTEALLEH, A. *et al.* Óp. Cit.

de garantizar que la solución polimérica penetrara hacia el interior del cerámico poroso. El exceso de líquido se retiró con ayuda de la técnica Spin Coating a una velocidad de rotación de 2000 RPM, durante 60 segundos. Posterior a esto, se procedió al curado de la capa de quitosán, para lo cual las espumas se mantuvieron en una estufa a 37 °C durante un tiempo de 48 horas. Las espumas así obtenidas se caracterizaron física y mecánicamente, tal como se describe en el numeral 2.4. También se estudió el efecto de las modificaciones realizadas sobre su reactividad en fluido fisiológico simulado (ver numeral 2.5).

2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LAS ESPUMAS

La morfología de las espumas CVR con y sin modificaciones fueron analizadas a través de las técnicas de microscopía óptica confocal y electrónica de barrido. Se evaluó la calidad de los recubrimientos sobre los ligamentos de las espumas CVR. Por su parte, la caracterización mecánica consistió en la determinación de la resistencia a la compresión de las diferentes espumas. Tales ensayos se realizaron en una máquina universal de ensayos marca Tinius-Olsen modelo H25KS, a una velocidad de deformación de 0.05mm/s y 4 mm de distancia total recorrida, con base en la norma ASTM C1424-15. Se tomaron 8 réplicas de cada tipo de espuma, determinándose la diferencia significativa a través de análisis estadístico mediante el método de distribución Weibull.

2.5 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE APATITAS

Las pruebas de reactividad in vitro en fluido fisiológico simulado (SBF) de las diferentes espumas CVR, CVR/biovidrio, CVR/biovidrio-chitosan y CVR/chitosán se realizaron sumergiendo las espumas en 100 mL SBF, con la composición propuesta por Kokubo y Takadama¹³. El tiempo de inmersión fue de 7 días, para lo cual se

¹³ KOKUBO, T. y TAKADAMA, H. How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity? *Biomaterials*, 2006, vol. 27, no. 15, pp. 2907–2915.

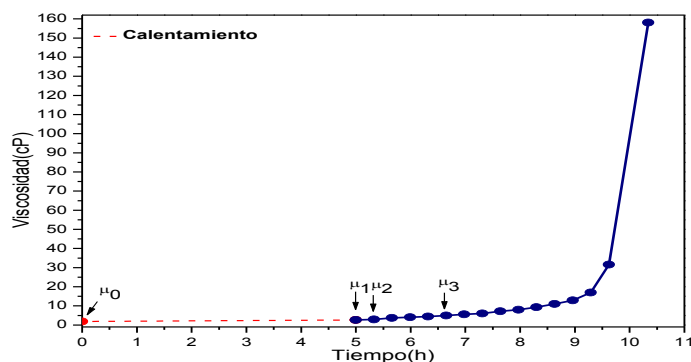
utilizó un baño termostataado marca Thermo scientific, manteniendo una temperatura de 36.5°C. El fluido se renovó al cabo de los primeros 4 días con el fin de simular los procesos de intercambio y circulación de fluidos los cuales ocurren en el cuerpo. Una vez finalizado el tiempo de inmersión en SBF se lavaron las espumas con agua desionizada, posterior al lavado se mantuvieron las espumas en una estufa a 50°C durante un tiempo de 24 horas. La formación de apatitas se evaluó con la ayuda de las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Espectroscopia de Dispersión de Energía de Rayos X (EDS) y Espectroscopia FT-IR.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ESPUMAS CVR RECUBIERTAS CON BIOVIDRIO

3.1.1 Curva de gelificación del sol de biovidrio. El comportamiento de la viscosidad del sol de biovidrio en función del tiempo, se observa en la figura 1. Destacándose dos zonas las cuales representan las medidas de viscosidad obtenidas antes y después del calentamiento en baño María con temperatura de envejecimiento de 60°C, la viscosidad μ_0 (1.84 cP) representa la viscosidad del sol inicial después de 12 horas de agitación a temperatura ambiente. Posterior a esto se inició el calentamiento durante 4 horas y 40 minutos, con el fin de acelerar la cinética de polimerización del sol, luego de esto se mantuvo el sol bajo agitación a temperatura ambiente durante un tiempo de 20 minutos al cabo de este tiempo se midió la viscosidad μ_1 (2.65 cP), para las siguientes medidas de viscosidad el sol se mantuvo a temperatura ambiente hasta su gelificación, alcanzándose el punto de gel luego de aproximadamente 10 horas y 20 minutos.

Figura 1. Curva de viscosidad vs tiempo para sol de biovidrio.



Una vez obtenida la curva de gelificación se estableció un rango de viscosidades del sol de μ_2 a μ_3 (3-5 cP) siendo estas medidas de viscosidad las más adecuadas para la obtención de los recubrimientos, ya que con ellas se facilita la impregnación de la espuma CVR. Lo anterior se analizó en ensayos preliminares del estudio de viscosidad, observándose que en ese rango de viscosidades se obtenía un recubrimiento homogéneo y con menor cantidad de defectos como obstrucción de poros.

3.1.2 Espectros infrarrojos. En la figura 2, se pueden observar los espectros infrarrojos de los soles de biovidrio a tiempos entre 0 y 80 minutos después de realizado el envejecimiento. En todos los espectros se pueden identificar las bandas de absorción características para el alargamiento del grupo O-H, la cual se presenta a 3283 cm^{-1} , este tipo de banda con intensidad fuerte y amplia se produce debido al solvente (agua)¹⁴. Por otro lado, la banda alrededor de 1630 cm^{-1} se puede asignar a modos de flexión del grupo hidroxilo O-H por deformación angular de la molécula de agua¹⁵. También se distingue una banda del grupo Si-O-H 1180 cm^{-1} correspondiente a la autocondensación de las moléculas formadoras de enlaces Si-O-Si presente a 970 cm^{-1} ¹⁶. Al comparar los espectros FT-IR obtenidos no se observan variaciones representativas en sus bandas debido a la poca condensación alcanzada, relacionada al corto rango de viscosidades (3-5 cP). Por otro lado, a 2110 cm^{-1} se presenta la banda relacionada a enlaces de oxígeno no enlazante de tipo C-O-H¹⁷. Finalmente, las vibraciones del grupo P-O se ubican a 1080 cm^{-1} ¹⁸.

¹⁴ ESTUPIÑAN. H. A., *et al.* Effect of the addition of bioglass and hydroxyapatite in polylactide acid on surface adsorption phosphates. *Avances Investigación en Ingeniería*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 36-37.

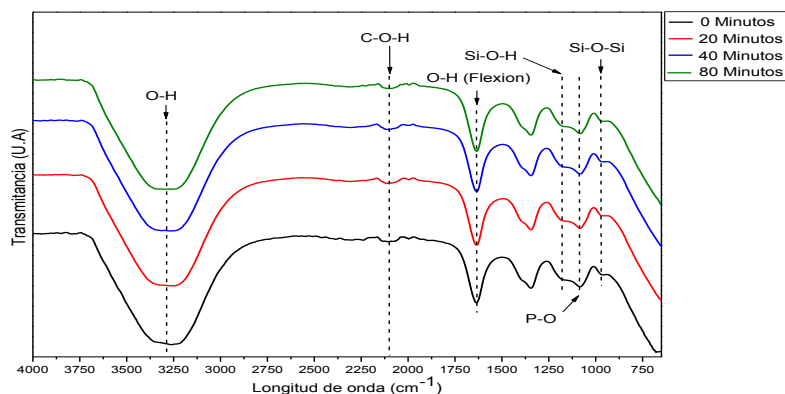
¹⁵ DUARTE, S. Síntesis y caracterización de fosfatos de calcio por el método sol-gel. *Universidad Nacional de Asunción*, 2012.

¹⁶ VELASCO, M. J.; RUBIO, y OTEO, J. L. Estudio por espectroscopía infrarroja de la reacción de hidrólisis y policondensación del TEOS en presencia de PDMS. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 2001, vol. 40, no. 1, pp. 37-42.

¹⁷ VERDUZCO, L. *Materiales de carbón micro-mesoporosos obtenidos del Brosimum Alicastrum para aplicaciones en generación de energía*. Centro de Investigación Científica de Yucatan, A.C, 2018.

¹⁸ FATHI., M. H.; y DOOST-MOHAMMADI, A. Preparation and characterization of sol-gel bioactive glass coating for improvement of biocompatibility of human body implant. *Materials Science and Engineering: A*, 2008, vol. 474, no. 1-2, pp. 128-133.

Figura 2. Espectros F-TIR del sol de biovidrio a diferentes tiempos de gelificación luego del envejecimiento a 60°C.



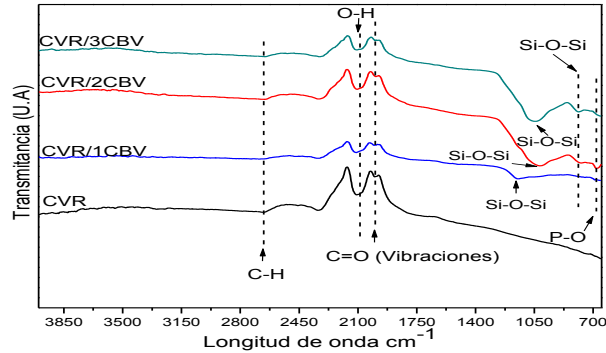
En la figura 3, se observan los espectros infrarrojos obtenidos para la espuma CVR original y las modificadas con 1, 2 y 3 capas de biovidrio. El espectro de la espuma CVR sin modificación presenta una banda relacionada a los grupos O-H alrededor de los 2100cm^{-1} ¹⁹. Por otro lado, se presentan bandas de vibraciones de alargamiento relacionadas con los grupos C-H y C=O a 2600cm^{-1} y alrededor de 1900cm^{-1} respectivamente²⁰, este tipo de bandas son características de las estructuras carbonáceas como las presentes en el carbón vítreo²¹. De estos también se observa la banda típica del enlace Si-O-Si entre 1135 a 1037cm^{-1} .

¹⁹ TERÁN, Óp. Cit.

²⁰ KOSUKA, H. On ceramic Thin Film Formation from Gels. Evolution of Stress, Cracks and Radiative Striations. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 2003, vol. 111, no.1297, pp. 624-632.

²¹ NARASIMMAN, R.; y PRABHAHARAN, K. Preparation of carbon foams with enhanced oxidation resistance by foaming molten sucrose using a boric acid blowing agent. *Carbon N Y*, 2013, vol. 55, pp. 305-312.

Figura 3. Espectros FT-IR de la espuma CVR original y modificadas con 1, 2 y 3 capas de Biovidrio.



En el espectro de la espuma CVR con 1 capa de biovidrio, la banda relacionada con el enlace Si-O-Si a 1135 cm^{-1} presenta mayor longitud de onda que la banda relacionada al mismo enlace Si-O-Si en los espectros de las espumas CVR con 2 y 3 capas. Este comportamiento ha sido referido por investigadores como E. Bonilla²², donde se plantea que cuando las bandas relacionadas con Si-O-Si se desplazan hacia mayores longitudes de onda de 1130 hasta 1180 cm^{-1} , las redes presentes de Si-O-Si vienen de soles que han alcanzado mayor condensación. Las espumas CVR con 2 y 3 capas pueden presentar redes de menor condensación debido al poco tiempo de secado del biocerámico entre la aplicación de cada capa. Finalmente, las vibraciones del grupo P-O se ubican a longitudes de onda comprendidas a $562-603 \text{ cm}^{-1}$ ²³. Es evidente que estas dos últimas bandas son más pronunciadas en los espectros de las espumas CVR con 2 y 3 capas en comparación con aquella que se presenta en el espectro de la espuma CVR con 1

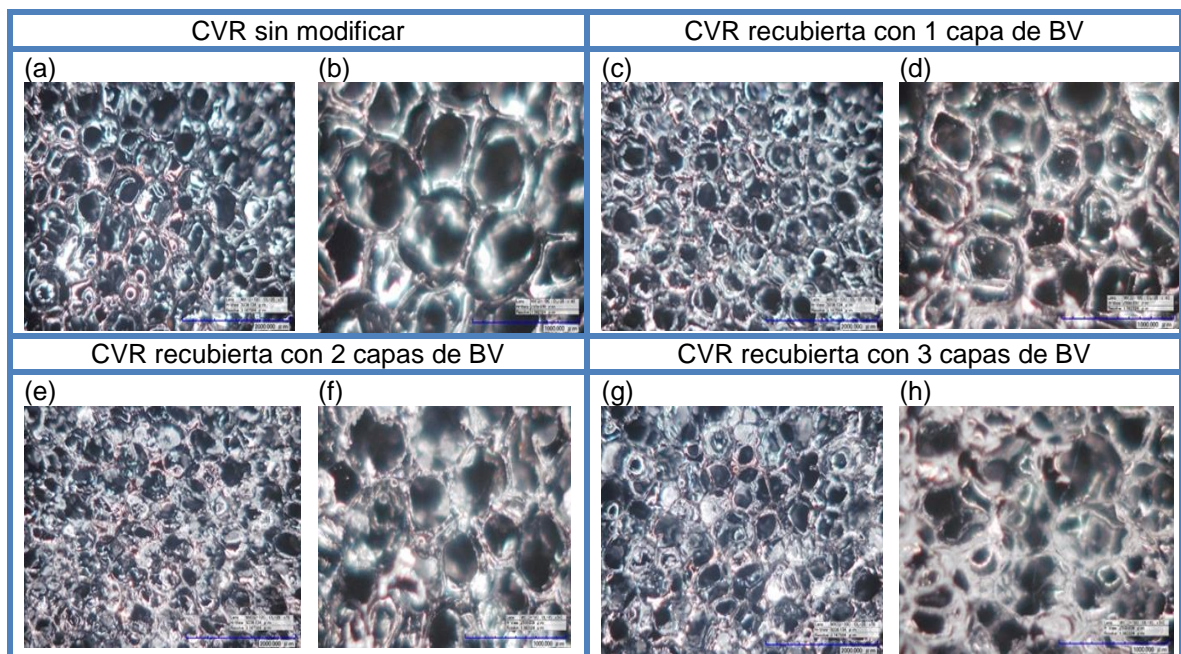
²² BONILLA E. *Nuevos materiales compuestos polímero- cerámica para la regeneración y reparación ósea*. Universidad Nacional de Colombia, 2014.

²³ BRAVO, O., y SIERRA, J. *Efecto de la alúmina en las propiedades físicas, químicas, electroquímicas y bioactivas de recubrimientos de biovidrio compuesto por 64%SiO₂-31%CaO-5%P₂O₅ soportados sobre acero AISI 316L*. Universidad Industrial de Santander, 2013.

capa de biovidrio, lo que está relacionado con la mayor cantidad de biocerámico depositado²⁴.

3.1.3 Micrografías espumas CVR/Biovidrio. En la figura 4 se comparan las micrografías ópticas de las espumas CVR sin y con recubrimiento de biovidrio. Las imágenes indican que, como era de esperarse, a medida que se aumenta el número de capas del biocerámico, se hace más evidente el depósito de tal material, con tonalidad clara sobre los ligamentos de las espumas. De las micrografías también se puede concluir que el proceso de obtención de los recubrimientos no modificó de manera significativa la morfología de la estructura porosa del sustrato de CVR.

Figura 4. Micrografías ópticas de las espumas CVR y CVR modificadas con 1, 2 y 3 capas de sol de biovidrio. (a-c-e-g) 70X; (b-d-f-h) 140X.

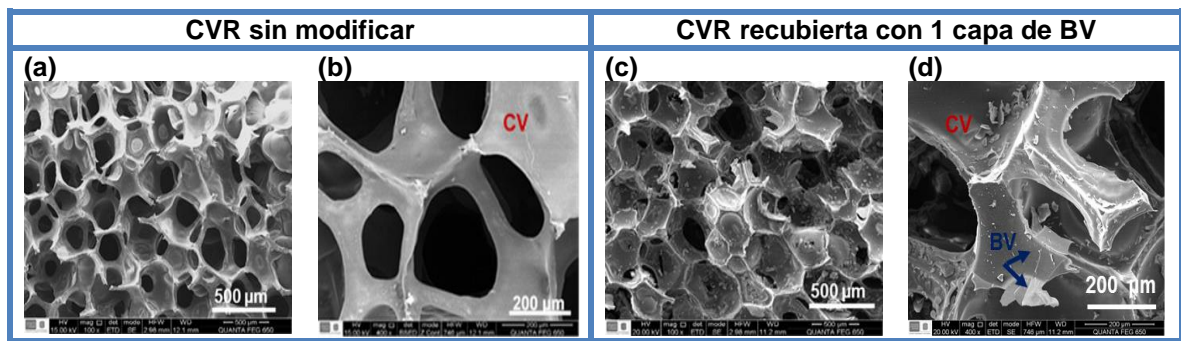


En la figura 5, se muestran las micrografías obtenidas por SEM de la espuma CVR sin modificar con poros no obstruidos cuyo diámetro promedio medido fue de 400.08 μm y

²⁴ BRAVO. O., SIERRA. J., ACEVEDO. P., y CÓRDOBA. E. *Síntesis y caracterización de biorecubrimientos de biovidrio*. 2014, no. 5, pp. 224-230.

modificada con 3 capas de biovidrio. Al comparar las imágenes, se puede observar el depósito de biovidrio el cual recubre una gran parte de los ligamentos que delimitan los poros de la espuma modificada. Es evidente que el biocerámico experimentó agrietamiento debido a su contracción por efecto de su densificación y eliminación de sustancias volátiles, tal y como se observa en la micrografía (5-b) a 400x donde están presentes algunas partículas cerámicas deslaminadas²⁵.

Figura 5. Micrográficas SEM de la espuma CVR sin modificar y modificada con 3 capas de recubrimiento de sol de biovidrio. (a-c) 100X; (b-d) 400X



En la tabla 1, se comparan los valores de los espesores de cada capa de recubrimiento de biovidrio depositado sobre la superficie de la espuma CVR, los cuales fueron determinados empleando microscopía óptica digital. Tales espesores se calcularon a partir de los valores promedio de los diámetros de los ligamentos de las espumas CVR/biovidrio y CVR, ver Anexo A. Tal como se esperaba al aumentar el número de capas depositadas de biovidrio de 1 a 3 se aumenta el espesor del recubrimiento obtenido pasando de 3.7 a 10.5 μm respectivamente.

²⁵ BRAVO, O., y SIERRA, J. *Efecto de la alúmina en las propiedades físicas, químicas, electroquímicas y bioactivas de recubrimientos de biovidrio compuesto por 64%SiO₂-31%CaO-5%P₂O₅ soportados sobre acero AISI 316L*. Universidad Industrial de Santander, 2013.

Tabla 1. Espesores de los recubrimientos de biovidrio depositados en las espumas CVR.

Espuma	Espesor de ligamento [μm]	Espesor del recubrimiento [μm]
CVR	43.00 \pm 5.82	-
CVR/1CBV	50.50 \pm 11.30	3.75
CVR/2CBV	56.54 \pm 11.21	6.77
CVR/3CBV	64.07 \pm 12.80	10.54

3.1.4 Resistencia a la compresión. En la tabla 2 se comparan los valores promedio de la resistencia a la compresión de las espumas. La resistencia a la compresión fue mayor para las espumas CVR sin modificar que las recubiertas con biovidrio, obteniéndose para la primera un valor de 0,30 \pm 0,06 MPa. Comparando las espumas recubiertas con biovidrio se observó un incremento en su resistencia, entre la primera y segunda capa depositada, alcanzando con 2 capas un valor de resistencia cercano a la espuma CVR original. La espuma CVR recubierta con 3 capas de biovidrio presentó el menor valor de resistencia a la compresión, 0,17 \pm 0,02 MPa. Por otro lado, se empleó una distribución estadística determinando los valores del módulo de Weibull (m_w), siendo este el más utilizado para el análisis de medidas de resistencia, permitiendo a su vez predecir el tiempo de vida útil de los materiales. En el caso del biocerámico, los concentradores de esfuerzo que dieron lugar a las grietas volumétricas o superficiales donde la grieta con más crecimiento que se forma determina la resistencia que puede soportar el material. Relacionando así el módulo de Weibull con la probabilidad de presentar fractura²⁶. Para las espumas CVR y CVR/biovidrio, el módulo de Weibull se encuentra dentro del rango entre 4.50 y 8.57, siendo el módulo de Weibull más bajo, 4.5 para las espumas CVR sin modificar, Este módulo aumentó para las espumas modificadas con el biocerámico. No obstante, al comparar los valores para las espumas CVR modificadas, se observa que el módulo disminuye al aumentar el número de capas de biovidrio. De lo anterior se puede inferir que las espumas CVR presentaron un

²⁶ McENTIRE, B.J. *et al. Ceramics and ceramic coatings in orthopedics*, 2015, pp. 4327-4369,

módulo de Weibull el cual se encuentra entre los valores comúnmente reportados en la literatura (entre 3 y 6)²⁷.

Teniendo en cuenta que a un valor mayor del módulo lleva consigo un menor intervalo de esfuerzos para los cuales se puede presentar la fractura del material, siendo esto indicativo de una mayor confiabilidad, las espumas CVR modificadas con 1 capa de biovidrio son las más confiables con un módulo de Weibull de 8.5.

Tabla 2. Propiedades mecánicas (n=8) de las espumas CVR sin modificar y modificadas con 1,2 y 3 capas de biovidrio.

Espuma	Resistencia a la compresión [Mpa]	m_w
CVR	0,30 ± 0,06	4,5
CVR/1CBV	0,22 ± 0,02	8,5
CVR/2CBV	0,28 ± 0,04	6,0
CVR/3CBV	0,17 ± 0,02	5,8

En el Anexo B, se muestran las curvas esfuerzo-deformación de los ensayos de determinación de la resistencia a la compresión de las espumas CVR sin modificar y modificadas con biovidrio. De los cuales se observa un comportamiento aleatorio en los esfuerzos aplicados, esto es debido a la redistribución de la carga producto de las roturas parciales de los ligamentos. En otras palabras, cuando la carga inicial se aplica, ésta es distribuida mayoritariamente sobre cierta cantidad de ligamentos que al alcanzar su carga de rotura fallan de manera frágil reflejándose la caída o disminución del esfuerzo soportado sobre la espuma. No obstante, la pérdida de ciertos ligamentos no compromete toda la estructura, reflejado en el aumento de carga sobre la espuma, tal incremento es sustentado en una nueva distribución del esfuerzo aplicado²⁸.

²⁷ LETELLIER, M. et al. Mechanical properties of model vitreous carbón fiams. *Carbon N. Y*, 2017, vol. 116, pp. 562-571.

²⁸ PRESAS, M. *Comportamiento mecánico de materiales celulares de Carburo de Silicio*. Escuela técnica superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos, 2009.

De acuerdo con los resultados presentados en esta sección, se seleccionó la espuma CVR/biovidrio modificada con 3 capas para continuar en la investigación. Si bien, este grupo de espumas no exhibe las mejores propiedades mecánicas, a partir de ellas se obtiene la mayor deposición de biovidrio en la espuma CVR, una característica muy importante para el estudio de la bioactividad de la espuma resultante. La estrategia escogida para aumentar la resistencia a la compresión de las espumas es mediante la segunda modificación, con quitosán, tales resultados se presentan en el siguiente apartado.

3.2 MODIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS CVR/BIOVIDRIO CON CHITOSÁN

El objetivo de esta segunda modificación de las espumas CVR era aumentar su resistencia mecánica hasta valores cercanos a los del hueso humano. A continuación, se presentan los resultados de caracterización de las espumas CVR/biovidrio recubiertas con una capa de solución polimérica de quitosán con concentraciones de 1,3 y 5 % p/v.

3.2.1 Espectros infrarrojos. En la figura 6, se muestran los espectros F-TIR de las espumas CVR/biovidrio una vez realizada la deposición del recubrimiento de quitosán. Se presenta una banda a 1543 cm^{-1} relacionada a la vibración por flexión del enlace N-H²⁹. Algunos investigadores como Alhosseini et al.³⁰ refieren que la banda a 1543 cm^{-1} está relacionada a la ionización de los grupos aminos primarios del quitosán. Investigadores como Bhattarai, et al,³¹ refieren que a bajas concentraciones de quitosán en la solución, es poco probable obtener la formación

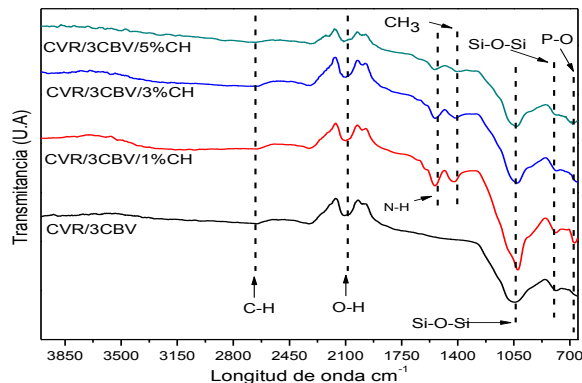
²⁹ YASMEEN, S. et al. Chromium (VI) Ions Removal from Tannery Effluent using Chitosan-Microcrystalline Cellulose Composite as Adsorbent. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2016, vol. 10, no. 4, pp. 1-14.

³⁰ ALHOSSEINI, S. et al. Synthesis and characterization of electrospun polyvinyl alcohol nanofibrous scaffolds modified by blending with chitosan for neural tissue engineering. *International journal of nanomedicine*, vol. 7, pp 28-30.

³¹ BHATTARAI, N., et al. Electrospun chitosan-based nanofibers and their cellular compatibility. *Biomaterials*, vol. 26, pp. 28-30.

de fibras poliméricas estables y a medida que aumenta la concentración de chitosán aumenta la formación de interconexiones entre moléculas de chitosán. Con base en lo anterior, la banda a 1543 cm^{-1} es más intensa para el recubrimiento con 1% p/v de chitosán debido a la inestabilidad de sus fibras reflejada en la ionización de sus aminas primarias en aminas secundarias N-H. No obstante, la banda a 1543 cm^{-1} no desaparece al aumentar la concentración de chitosán en la solución de 3 y 5 % p/v permitiendo inferir la existencia de grupos N-H que influyen en la adhesión chitosan-biocerámico. Por otro lado, la banda ubicada a 1417 cm^{-1} podría estar relacionada al modo de deformación simétrico de la molécula CH_3 y la banda a 2750 cm^{-1} guarda relación con el estiramiento de la molécula C-H³².

Figura 6. Espectros FT-IR de las espumas CVR modificadas con biovidrio y biovidrio/chitosán al 1,3 y 5% p/v.



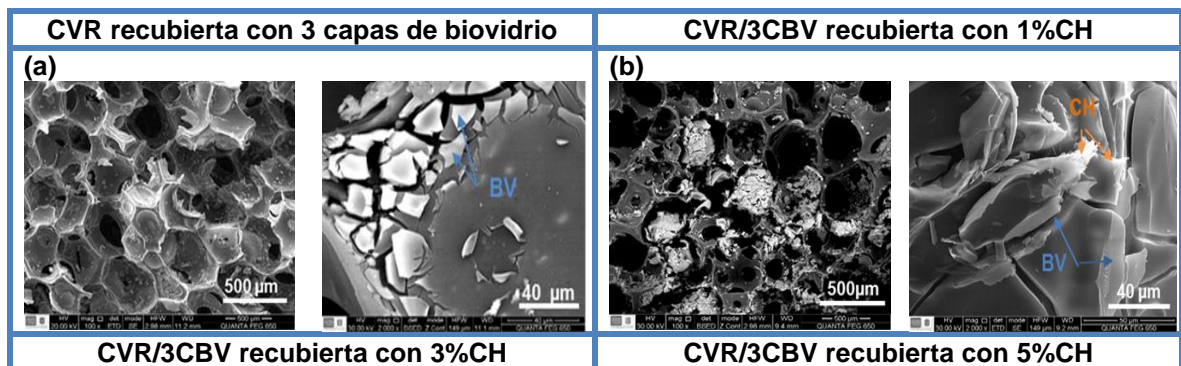
3.2.2 Micrografías espumas CVR-Biovidrio/chitosán. En la figura 7 se observan las micrografías obtenidas por SEM de las espumas modificadas con soluciones poliméricas de chitosán con diferentes concentraciones. Puede observarse en las micrografías a bajos aumentos (a), que los recubrimientos obtenidos a partir de soluciones de chitosán con concentraciones de 1 y 3% p/v no afectan

³² ALHOSSEINI, S. *et al.* Óp. Cit.

significativamente la morfología porosa propia de las espumas CVR. Caso contrario ocurre con el recubrimiento obtenido con solución de quitosán con concentración de 5% p/v, el cual afecta notablemente la morfología inicial disminuyendo la cantidad de poros abiertos. Las micrografías a mayores aumentos (b), muestran el comportamiento propio del material polimérico, el cual sirve de adhesión y reforzamiento del biocerámico previamente depositado en la espuma CVR. Sin embargo, en la micrografía con recubrimiento de solución de quitosán 5% p/v, se observa la obstrucción completa del poro debido al exceso de polímero depositado.

En la tabla 3, se comparan los valores de los espesores de cada recubrimiento de quitosán depositado sobre la superficie de la espuma CVR/biovidrio, los cuales fueron determinados empleando microscopía óptica digital. Tales espesores se calcularon a partir de los valores promedio de los diámetros de los ligamentos de las espumas CVR/biovidrio/chitosán y CVR/biovidrio (3 capas), ver Anexo A. Tal como se esperaba al aumentar la concentración de la solución de quitosán de 1% a 5% se aumenta el espesor del recubrimiento obtenido pasando de 7.5 a 19.9 μm respectivamente.

Figura 7. Micrografías SEM de las espumas modificadas con 3 capas de recubrimiento de sol de biovidrio y una capa de soluciones de quitosán con concentraciones de 1, 3 y 5% p/v (b-c-d).



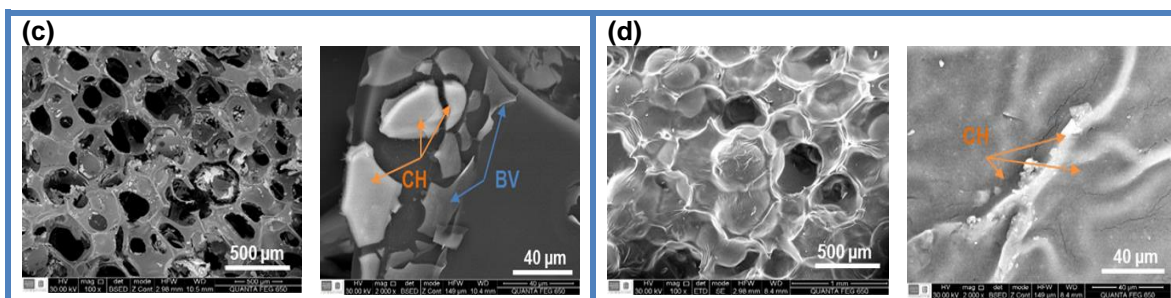


Tabla 3. Espesores de los recubrimientos de quitosán depositados en las espumas CVR/biovidrio.

Espuma	Espesor de ligamento [μm]	Espesor del recubrimiento [μm]
CVR/3CBV	64.07 ± 12.80	-
CVR/3CBV/ 1% CH	79.11 ± 16.72	7.5
CVR/3CBV/ 3% CH	91.38 ± 14.85	13.6
CVR/3CBV/ 5% CH	103.88 ± 21.30	19.9

3.2.3 Caracterización mecánica. En la tabla 4 se presentan los resultados de las pruebas de determinación de la resistencia mecánica de las espumas CVR/biovidrio 3 capas y las espuma modificadas con una capa de quitosán de concentración 1, 3 y 5 % p/v. La resistencia a la compresión aumenta notablemente al recubrir las espumas CVR/biovidrio con solución de quitosán. Es evidente que a mayor concentración de quitosán en el recubrimiento polimérico mayor será el incremento de la resistencia a la compresión experimentado por la espuma, aumentándose la resistencia de 0.17 a 1.69 MPa por efecto de depositar una capa de solución de quitosán al 5%. Las espumas CVR al ser materiales cerámicos se comportan de manera frágil. Cuando se deposita biovidrio, éste trae consigo la presencia de microgrietas de forma natural producto de su contracción tras ser sometido a tratamientos térmicos, lo que acentúa el comportamiento frágil de las espumas modificadas.

Recubrir la superficie de andamios de naturaleza frágil con polímeros ha mejorado su resistencia mecánica debido a la formación de una película homogénea polimérica sobre sus superficies. Se ha observado que tales películas unen las

superficies separadas en el andamio atenuando la expresión de las microgrietas previamente formadas. Ante la presencia de carga, las microgrietas presentes en el biocerámico tienden a crecer por efecto de tensiones residuales, y es allí donde las películas poliméricas actúan. Es decir, las fibras poliméricas evitan la apertura catastrófica del material aun cuando la fase del biocerámico se ha roto³³.

Otros autores como Motealleh et al.³⁴ sustentan que el aumento de las propiedades mecánicas de andamios recubiertos con polímeros está influenciado por la interacción electrostática entre grupos funcionales de un material cerámico como el biovidrio Si-OH y un polímero -COOH y N-H suministrando mejor adhesión interfacial entre ellos. En este mismo orden de ideas, Kotoul et al.³⁵ concluyeron que los recubrimientos poliméricos actúan generando un puenteo de grietas que mejora la fracto-tenacidad del andamio. Con base en lo anterior, las espumas CVR/biovidrio/chitosán aumentaron sus propiedades mecánicas gracias a la presencia de fibras poliméricas que unen las superficies separadas en la preforma, lo cual permite reducir el efecto de la concentración de esfuerzos y por ende evitar la propagación de grietas hasta la falla catastrófica. Respecto al módulo de Weibull, su valor crece con el aumento del porcentaje de chitosán en el recubrimiento. Investigadores como B. J. McEntire et al.³⁶, refieren que el valor del módulo de Weibull permite estimar la confiabilidad de un material y limita la probabilidad de falla del mismo. En este caso la espuma recubierta con 5% p/v de chitosán alcanzó el mayor grado de confiabilidad de 9.9.

³³ KOTOUL, M. *et al.* Crack bridging modeling in Bioglass based scaffolds reinforced by poly-vinyl alcohol/microfibrillated cellulose composite coating. 2017, vol. 110, pp. 16-28.

³⁴ MOTEALLEH, *et al.* Óp. Cit.

³⁵ KOTOUL, M. *et al.* Óp. Cit.

³⁶ McENTIRE, B. J., *et al.* Ceramics and ceramic coatings in orthopaedics. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2015, vol. 35, no. 16, pp. 4327-4369.

Tabla 4. Propiedades mecánicas (n=8) de las espumas CVR/biovidrio 3 capas y modificadas con una capa de quitosán de concentración 1,3 y 5 % p/v.

Espuma	Resistencia a la compresión [MPa]	m _w
CVR/3CBV	0,17 ± 0,02	5,8
CVR/3CBV/ 1% CH	0,66 ± 0,09	6,7
CVR/3CBV/ 3% CH	1,31 ± 0,13	9,5
CVR/3CBV/ 5% CH	1,69± 0,16	9,9

El rango de resistencia a la compresión del hueso esponjoso está comprendido desde 1 hasta 16 MPa³⁷. Bajo esta estimación, las espumas CVR/biovidrio de 3 capas modificadas con una capa de 3 y 5 % p/v de quitosán responden satisfactoriamente al rango establecido relacionando alcanzándose valores de resistencia mecánica de 1.31 y 1.69 MPa respectivamente. Adicionalmente, la resistencia mecánica del hueso trabecular posee un rango de 0.1-30 MPa³⁸. Teniendo en cuenta lo anterior, todas las espumas de CVR sin modificar y modificadas responde de manera satisfactoria a los requerimientos del hueso trabecular.

En el Anexo C se presentan algunas de las curvas esfuerzo-deformación obtenidas durante las pruebas de caracterización mecánica de las espumas CVR/biovidrio y CVR/biovidrio/chitosán. Resulta evidente el cambio de comportamiento frágil a dúctil que experimentan las espumas modificadas con soluciones de quitosán, tales espumas resisten cargas crecientes hasta alcanzar su máximo valor de resistencia a la compresión, donde a mayor porcentaje de quitosán en el recubrimiento mayor será la carga soportada, siendo la espuma CVR/biovidrio modificada con solución al 5% de quitosán aquella que presentó mejor comportamiento bajo cargas de compresión. Teniendo en cuenta lo anterior, el quitosán aumentó la tenacidad y por ende atenúo el comportamiento frágil como es referido³⁹.

³⁷ MOTEALLEH, A.; EQTESADI, S.; PAJARES, A.; y MIRANDA, P., Óp. Cit.

³⁸ MORGAN, Elise; UNNIKRISSAN, Ginu; y HUSSEIN, Amira. *Bone Mechanical Properties in Healthy and Diseased States*, 2018.

³⁹ MOTEALLEH, A., EQTESADI, S., PAJARES, A., MIRANDA, P., Óp. Cit.

3.3 PRUEBAS DE REACTIVIDAD DE LAS ESPUMAS EN FLUIDO FISIOLÓGICO SIMULADO (SBF)

3.3.1 Análisis SEM de las espumas sintetizadas y sumergidas en fluido fisiológico simulado. Las micrografías SEM de las espumas sin modificar y las modificadas con biovidrio (3 capas) y con chitosán se presentan en la figura 8, así mismo los análisis EDS de las mismas se incluyen en el anexo D. Las espumas CVR antes (a) y después (b) de la inmersión en SBF no muestran composición de fosforo en sus zonas observadas, visualizando una superficie con gran continuidad, dando un índice de reactividad nula ante el fluido fisiológico simulado. Por su parte la espuma recubierta con tres capas de biovidrio que no fue sumergida (c) presenta discontinuidad en la superficie, pero cuando se observa la superficie de su homóloga sumergida (d), es posible observar la presencia de una fase entre las terminaciones de tipo “escamas”. Sobre las espumas recubiertas con chitosan 1%, se observa que aquella sin tratamiento en SBF (e) presenta algunas fases en forma de “escamas” con la particularidad de mostrar algunos aglomerados, cuya relación Ca/P es de 1.29, pudiéndose tratar de algún fosfato cálcico diferente a hidroxiapatita⁴⁰. Al analizar la espuma sumergida en SBF (f) se observan precipitados alargados con una razón Ca/P de 1.69, posiblemente de hidroxiapatita debido a que su relación es muy cercana a la esperada para dicho material, 1.67⁴¹

Las espumas con 3% de chitosán, antes de inmersión en SBF (g) presentan “escamas” como en los casos anteriores, sumado a las cadenas de chitosán que enlazan el biovidrio. Luego de su inmersión en SBF (h) se observa la formación de una fase de textura globular con relación Ca/P 1.39. La espuma recubierta con solución al 5% de chitosán (i) cuando es tratada mediante su inmersión en SBF (j) genera la formación de una fase con Ca/P de 1.78, en cierta manera cercana al

⁴⁰ TAVARA, N., *et al.* Análisis semicuantitativo del calcio y fósforo en los tejidos calcificados de la mandíbula. *Biocerámica*, 2002, vol. 10, no. 2, pp. 5-13.

⁴¹ ROSS, C. *Elaboración de un composito bioactivo y biocompatible a base de biovidrio 45S5 y óxido de grafeno*. Universidad de Chile, 2018.

valor esperado para la hidroxiapatita de 1.67. Adicionalmente se evaluó el carácter reactivo en SBF de una espuma CVR modificada solamente con solución de chitosán al 5 % (sin previa modificación con biovidrio). Para dicha muestra, se observa un cambio en la textura del recubrimiento (k) por efecto de la inmersión en SBF (l), lo cual puede indicar la disolución parcial de la capa de chitosán, más no la formación de apatitas, dada la ausencia de Ca y P en la superficie de la muestra luego de la inmersión en SBF. Si bien, ningún andamio de los aquí estudiado presentó la formación de una fase con la composición teórica de la hidroxiapatita (una relación Ca/P de 1.67) durante su inmersión en SBF, todos los andamios, a excepción de CVR (a, b) y CVR recubierta sólo con chitosán (k, l) responden positivamente a lo planteado en la literatura, donde se provee un rango para el cual hay índice de reactividad con formación de apatitas con relación Ca/P entre 1.37 y 1.87⁴².

Lo anterior queda evidenciado en la figura 9, en la cual se observan micrografías SEM tomadas a magnificaciones entre 30000 y 40000 x de las espumas modificadas con biovidrio y biovidrio-chitosán notándose un gran cambio en la morfología debido a los precipitados enriquecidos en calcio y fosforo.

⁴² ROSS, Óp. Cit.

Figura 8. Micrografías SEM de las espumas antes de inmersión en SBF (Izquierda) y después de inmersión por un tiempo de 7 días (Derecha). (a-b-c-d-e-f-i-j-k-l) 2000X y (g y h) 10000X.

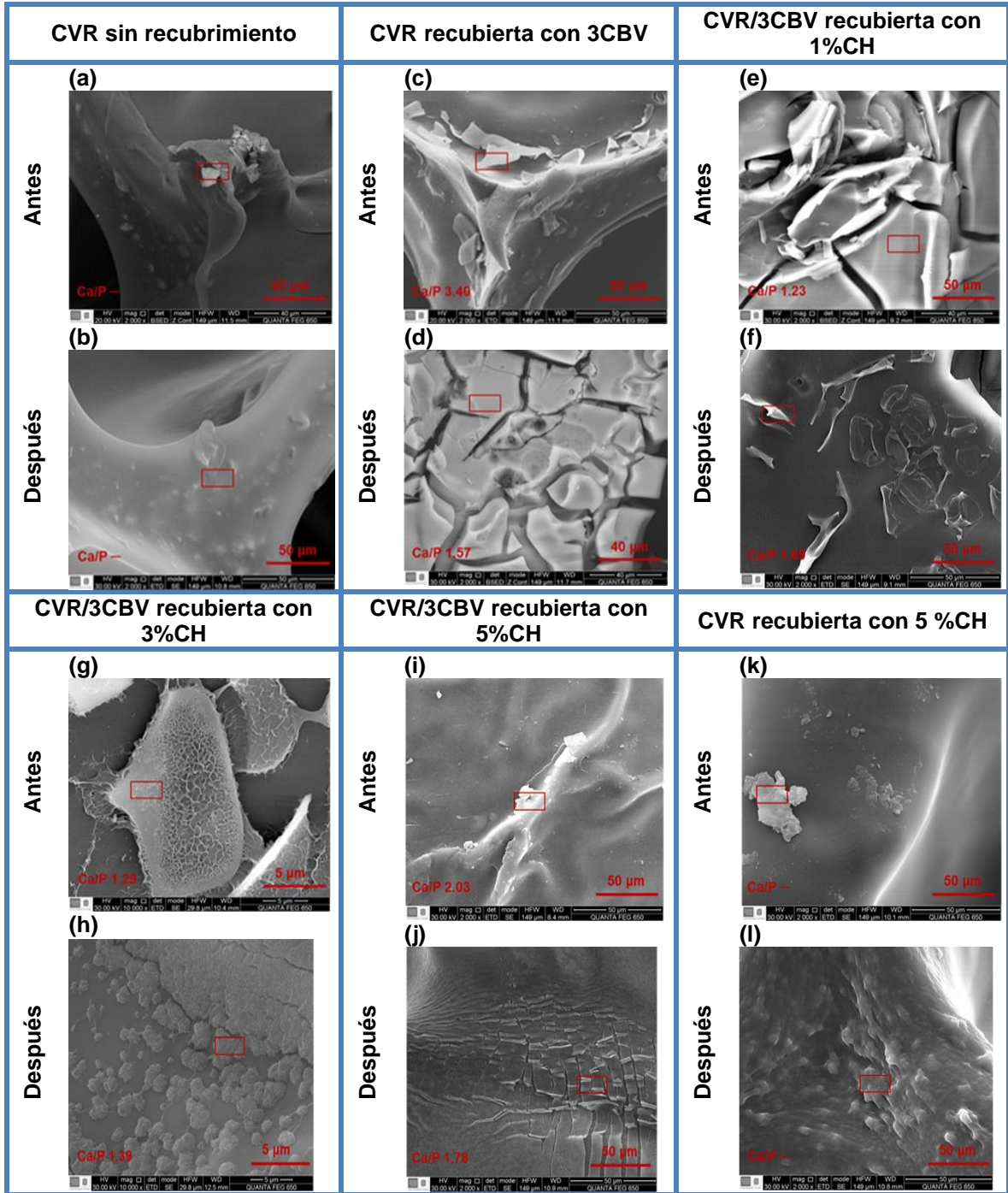
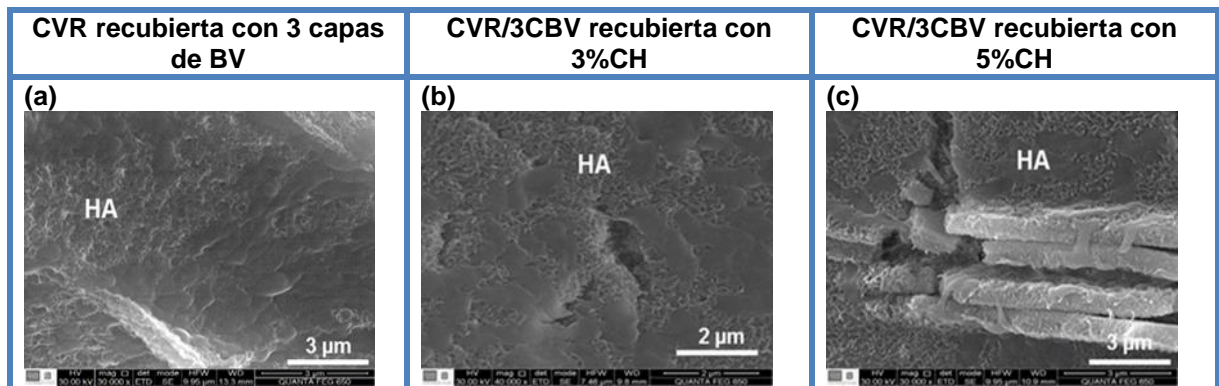


Figura 9. Micrografías SEM de las espumas sin modificar y modificadas después de un tiempo de 7 días de inmersión en fluido fisiológico.



3.3.2 Espectros de infrarrojo. Para complementar los resultados obtenidos por microscopía electrónica de barrido, se realizaron análisis de espectroscopia de infrarrojos a las muestras expuestas al fluido fisiológico simulado (SBF), tales espectros se presentan en el Anexo E. Los espectros correspondientes a las espumas CVR sin modificar (a) y modificada con solución al 5% de quitosán (f), luego de su inmersión en SBF, no exhiben bandas características de materiales bioactivos relacionadas con el grupo fosfato de las apatitas, lo cual confirma lo concluido del análisis hecho por SEM. Por su parte, en los espectros correspondientes a los andamios modificados con biovidrio (b) o con biovidrio/chitosán (c, d y e) se observan bandas a 603 y 565 cm^{-1} correspondientes a modos de vibraciones de flexión P-O, los cuales son rasgos característicos de grupos fosfatos en fases cristalinas⁴³. Tales bandas se mantuvieron en los espectros obtenidos luego de la inmersión de las muestras en SBF. También se observa que las bandas características del grupo amino N-H (1543 cm^{-1}) para las espumas modificadas con soluciones de quitosán se volvieron menos intensas por efecto de la inmersión de las muestras en SBF, lo cual se puede deber a la

⁴³ MA, J.; CHEN, C.Z.; y WANG, D.G. Influence of the sintering temperature on the structural feature and bioactivity of sol-gel derived SiO₂-CaO-P₂O₅ bioglass. *Ceramics International*, 2010, vol. 36, pp. 1911-1916.

disolución parcial del quitosán y a las interacciones de tales grupos con los grupos PO_4^{3-} de las apatitas⁴⁴. Por lo tanto, los resultados de los FT-IR confirman la formación de capas de apatita en las espumas modificadas con biovidrio y biovidrio-chitosán.

En síntesis, las espumas CVR disminuyen sus propiedades mecánicas y adquieren reactividad al modificarlas con 3 capas de biovidrio. Por otro lado, Las espumas CVR/biovidrio (3 capas) exhibieron aumento considerable de sus propiedades mecánicas al modificarlas con quitosán, evidenciando que a mayor concentración de quitosán en el recubrimiento polimérico mayor es el aumento en las propiedades mecánicas de las espumas, resultando el máximo en las CVR/biovidrio con 5% de quitosán con un valor de 1.69 MPa. De otra manera, las espumas CVR/biovidrio (3 capas) modificadas con quitosán evidenciaron cambio en la relación Ca/P, debido a la formación de precipitados formados durante su exposición al fluido corporal simulado (SBF). Donde las espumas CVR/biovidrio-1% quitosán presentaron precipitados con la mejor relación Ca/P de 1.69, en el sentido de que fue la más próxima a la esperada para la hidroxiapatita. Estos resultados evidencian que el quitosán no inhibe la reactividad del biovidrio en fluido fisiológico simulado; no obstante, el biopolímero no demostró ser reactivo por sí sólo en tal fluido.

Finalmente, se concluye que las estrategias seleccionadas en la presente investigación para mejorar las características bioactivas y mecánicas de las espumas de carbón vítreo fueron apropiadas, pues alcanzaron tales mejoras con los recubrimientos de biovidrio y quitosán, respectivamente.

⁴⁴ FURTOS, G. y LEWANDOWSKA, K. Estudio de la formación de capas de apatita en películas finas compuestas de quitosano tratadas con SBF. *Polymer Testing*, 2018, vol. 71, pp. 173-181.

4. CONCLUSIONES

A partir del método de réplica sobre esponja polimérica y usando una solución de sacarosa como fuente precursora, se obtuvieron espumas de carbón vítreo reticulado con una morfología altamente porosa con espesor de ligamentos de aproximadamente 43 μm y diámetro de poro de 400 μm , parámetros que se encuentran dentro de los valores típicos encontrados para el hueso humano. La resistencia a la compresión de los andamios CVR desarrollados fue de 0.30 MPa, valor que se ajusta a la resistencia encontrada para el hueso trabecular pero no a la del hueso esponjoso. Así mismo, los estudios de inmersión en fluido fisiológico simulado demostraron el carácter químicamente inerte de las espumas CVR en tal fluido.

La modificación de las espumas CVR con biovidrio no alteró de manera significativa la morfología porosa de las espumas CVR, pero sí conllevó a la disminución de la resistencia mecánica de las mismas, por efecto del carácter frágil y el alto agrietamiento del recubrimiento. Sin embargo, se demostró que tal modificación es una estrategia adecuada para aumentar la reactividad en SBF conllevando a la formación de apatitas sobre su superficie.

La modificación de las espumas CVR/biovidrio con quitosán. Por medio de análisis microscópico se demostró que el polímero le aportó cohesión y adhesión a la película de biovidrio previamente depositada. Así mismo, la modificación con quitosán impactó de manera notable en la resistencia a la compresión de los andamios pasando de 0.17 a 1.69 MPa, valor que se encuentra dentro del rango característico para el hueso esponjoso. Los ensayos de inmersión en SBF, demostraron que el quitosán no inhibe la reactividad del biovidrio, formándose apatitas sobre las espumas CVR/biovidrio/chitosán.

Finalmente, se concluye que las estrategias seleccionadas en la presente investigación con el fin de mejorar las características bioactivas y mecánicas de las espumas de carbón vítreo fueron apropiadas, pues se alcanzaron tales mejoras con los recubrimientos de biovidrio y quitosán.

5. RECOMENDACIONES

Emplear tecnologías de impresión 3D para obtener espumas de dimensiones exactas con estructura cuyos poros sean modificables, así como su espesor de ligamento para obtener mejores resultados sobre la resistencia mecánica de las mismas.

Realizar un estudio enfocado a encontrar una estrategia adecuada para aumentar la mojabilidad de la superficie de las espumas de carbón vítreo, con el fin de mejorar la adherencia del recubrimiento de biovidrio.

Llevar a cabo estudios de crecimiento celular sobre las espumas CVR/biovidrio/chitosán, con el fin de evaluar su potencialidad como andamio óseo desde un punto de vista biomédico.

BIBLIOGRAFÍA

ALHOSSEINI, S. *et al.* Synthesis and characterization of electrospun polyvinyl alcohol nanofibrous scaffolds modified by blending with chitosan for neural tissue engineering. *International journal of nanomedicine*, vol. 7, pp 28-30.

BHATTARAI, N., *et al.* Electrospun chitosan-based nanofibers and their cellular compatibility. *Biomaterials*, vol. 26, pp. 28-30.

BONILLA E. *Nuevos materiales compuestos polímero- cerámica para la regeneración y reparación ósea.* Universidad Nacional de Colombia, 2014.

BRAVO, O., y SIERRA, J. *Efecto de la alúmina en las propiedades físicas, químicas, electroquímicas y bioactivas de recubrimientos de biovidrio compuesto por 64%SiO₂-31%CaO-5%P₂O₅ soportados sobre acero AISI 316L.* Universidad Industrial de Santander, 2013.

BRAVO. O., SIERRA. J., ACEVEDO. P., y CÓRDOBA. E. *Síntesis y caracterización de biorecubrimientos de biovidrio.* 2014, no. 5, pp. 224-230.

CIRO, E.; ZAPATA, N.; y LÓPEZ, E. *Elaboración de un cemento óseo de fosfato de calcio con una adición de biovidrio,* 2015, vol. 54, pp. 84-92.

CORREA, D., *et al.* Obtención de un material vítreo bioactivo como sustituto del tejido óseo. *VII Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería,* 2007.

DUARTE, S. *Síntesis y caracterización de fosfatos de calcio por el método sol-gel.* Universidad Nacional de Asunción, 2012.

ECHEVERRY, M.; CASTAÑO, J.; ROBLEDO, S.; y ECHEVERRÍA, F. Materiales y técnicas utilizadas en recubrimientos bioactivos para mejorar procesos de oseointegración. *Revista politécnica*, 2012, vol. 8, no. 15, pp. 75-87.

EQTESADI, Siamak; MOTEALLEH, Azadeh; PAJARES, Antonia; GUIBERTEAU, Fernando; y MIRANDA, Pedro. Influence of sintering temperature on the mechanical properties of ϵ -PCL-impregnated 45S5 bioglass-derived scaffolds fabricated by robocasting. *Journal of the European Ceramic Society*, 2015, vol. 35, no. 14, pp.3985-3993.

ESTUPIÑAN, H. A., *et al.* Effect of the addition of bioglass and hydroxyapatite in polylactide acid on surface adsorption phosphates. *Avances Investigación en Ingeniería*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 36-37.

FATHI., M. H.; y DOOST-MOHAMMADI, A. Preparation and characterization of sol-gel bioactive glass coating for improvement of biocompatibility of human body implant. *Materials Science and Engineering: A*, 2008, vol. 474, no. 1-2, pp. 128-133.

FRAGA, A.; ALMEIDA, E.; DA SILVA, E.; y ORTEGA, A. Synthesis of chitosan/hydroxyapatite membranes coated with hydroxycarbonate apatite for guided tissue regeneration purposes, 2011, vol. 257, no. 9, pp. 3888-3892.

FURTOS, G. y LEWANDOWSKA, K. Estudio de la formación de capas de apatita en películas finas compuestas de quitosano tratadas con SBF. *Polymer Testing*, 2018, vol. 71, pp. 173-181.

GIRALDO, O. Vidrio bioactivo: antecedentes, tendencias y perspectivas. *Colombia y el mundo*, 2016, no.9, pp. 41–52.

KOKUBO, T. y TAKADAMA, H. How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity? *Biomaterials*, 2006, vol. 27, no. 15, pp. 2907–2915.

KOSUKA, H. On ceramic Thin Film Formation from Gels. Evolution of Stress, Cracks and Radiative Striations. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 2003, vol. 111, no.1297, pp. 624-632.

KOTOUL, M. *et al.* Crack bridging modeling in Bioglass based scaffolds reinforced by poly-vinyl alcohol/microfibrillated cellulose composite coating. 2017, vol. 110, pp. 16-28.

LETELLIER, M. *et al.* Mechanical properties of model vitreous carbón fiams. *Carbon N. Y*, 2017, vol. 116, pp. 562-571.

LI, J.J.; *et al.* Multiple silk coatings on biphasic calcium phosphate scaffolds: effect on physical and mechanical properties and in vitro osteogenic response of human mesenchymal stem cells. *Biomacromolecules*, 2013, vol 14, pp. 2179-2188.

MA, J.; CHEN, C.Z.; y WANG, D.G. Influence of the sintering temperature on the structural feature and bioactivity of sol-gel derived SiO₂-CaO-P₂O₅ bioglass. *Ceramics International*, 2010, vol. 36, pp. 1911-1916.

MARTÍNEZ, R. *et al.* Efecto del quitosan en el comportamiento electroquímico de recubrimientos de fosfatos de calcio. *Scientia et Technica*, 2007, vol. 13, no. 36.

McENTIRE, B. J., *et al.* Ceramics and ceramic coatings in orthopaedics. *J. Eur. Ceram. Soc*, 2015, vol. 35, no. 16, pp. 4327-4369.

MINA, A.; y LEMOS, A. Revisión del comportamiento biocompatible de biovidrio como material promisorio en la industria biomédica, 2015, vol. 79, no. 2, pp. 179-187.

MORGAN, Elise; UNNIKRISSAN, Ginu; y HUSSEIN, Amira. *Bone Mechanical Properties in Healthy and Diseased States*, 2018.

MOTEALLEH, *et al.* Enhancing the mechanical and in vitro performance of robocast bioglass scaffolds by polymeric coatings: Effect of polymer composition. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2018, vol. 84, pp. 35-45.

NARASIMMAN, R.; y PRABHAHARAN, K. Preparation of carbon foams with enhanced oxidation resistance by foaming molten sucrose using a boric acid blowing agent. *Carbon N Y*, 2013, vol. 55, pp. 305-312.

NIÑO, D. *Reforzamiento de espumas de carbón vítreo utilizando recubrimientos de biovidrio fabricados por el método sol-gel*. Universidad Industrial de Santander, 2017.

PRESAS, M. *Comportamiento mecánico de materiales celulares de Carburo de Silicio*. Escuela técnica superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos, 2009.

QUIROGA, Gisela *et al.* Fabricación de recubrimientos compuestos de Bioglass®/poli(ε-capro-lactona) obtenidos por co-deposición electroforética sobre acero inoxidable. *Rio de Janeiro: Materia*, 2018, vol. 23, no. 2, e12097.

QUIROGA, S. *Efecto de la composición de los recubrimientos mixtos de biovidrio/TiO₂ en sus características bioactivas*. Universidad Industrial de Santander, 2011.

RODÍGUEZ, A. *et al.* Propiedades químico-estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos, 2009, vol. 15, no. 3, pp. 307-3017.

ROSS, C. *Elaboración de un composito bioactivo y biocompatible a base de biovidrio 45S5 y óxido de grafeno.* Universidad de Chile, 2018.

SALGADO, A. *et al.* Caracterización morfológica y térmica de un biomaterial compuesto de alta porosidad Phema-quitosano-cerámica (Hidroxiapatita), 2016, vol. 15, no. 2, pp. 625-632.

SURACHAI, W.; VASANTHA, A.; y LASZLO, E. Mesoporous activated carbon-zeolite composite prepared from waste macadamia nut shell and synthetic faujasite. 2018, vol. 27, no. 1, pp. 226-236.

TAVARA, N., *et al.* Análisis semicuantitativo del calcio y fósforo en los tejidos calcificados de la mandíbula. *Biocerámica*, 2002, vol. 10, no. 2, pp. 5-13.

TERÁN, N. *Desarrollo de andamios de carbón vítreo reticulado de celda poliédrica a partir de sacarosa para aplicaciones de ingeniería de tejido óseo.* Universidad Industrial de Santander, 2018.

VELASCO, M. J.; RUBIO, y OTEO, J. L. Estudio por espectroscopía infrarroja de la reacción de hidrólisis y policondensación del TEOS en presencia de PDMS. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 2001, vol. 40, no. 1, pp. 37-42.

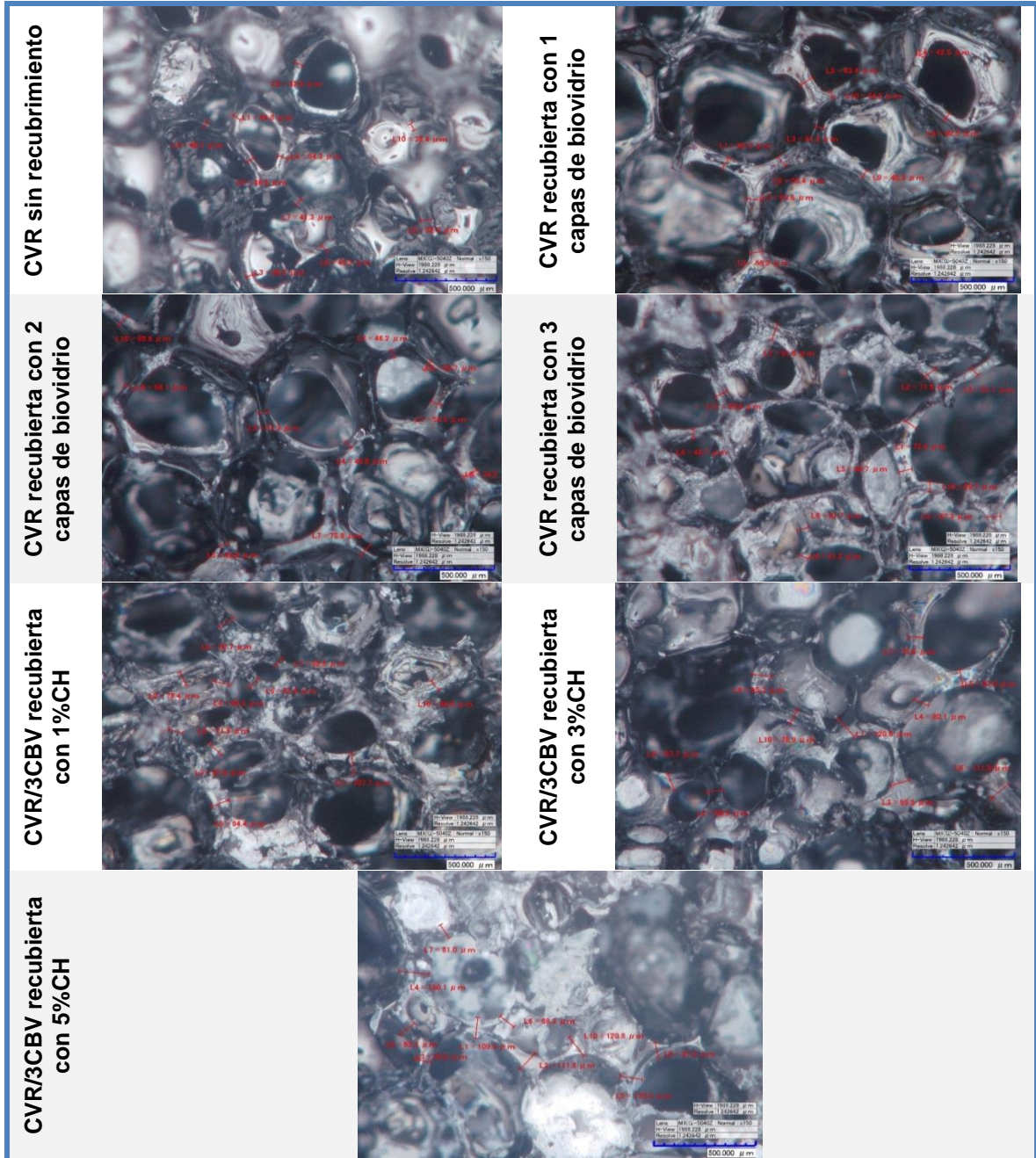
VERDUZCO, L. *Materiales de carbón micro-mesoporosos obtenidos del Brosimum Alicastrum para aplicaciones en generación de energía.* Centro de Investigación Científica de Yucatan, A.C, 2018.

YASMEEN, S. *et al.* Chromium (VI) Ions Removal from Tannery Effluent using Chitosan-Microcrystalline Cellulose Composite as Adsorbent. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2016, vol. 10, no. 4, pp. 1-14.

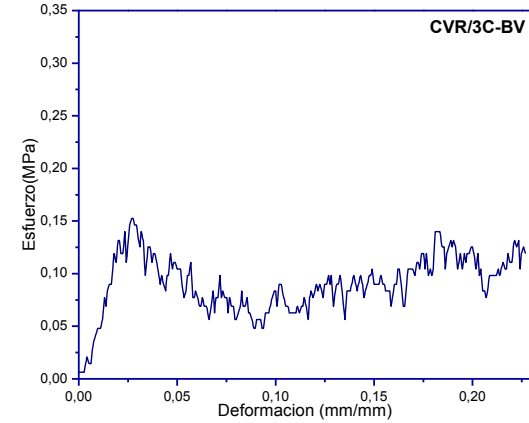
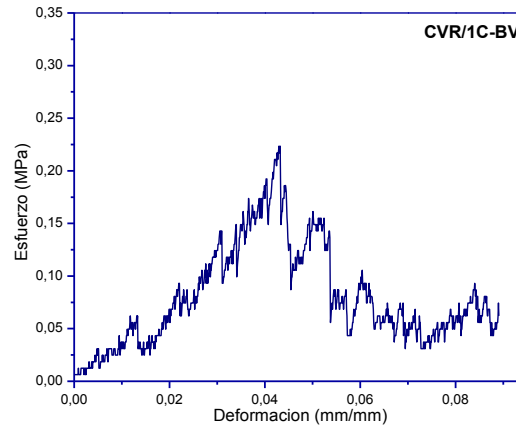
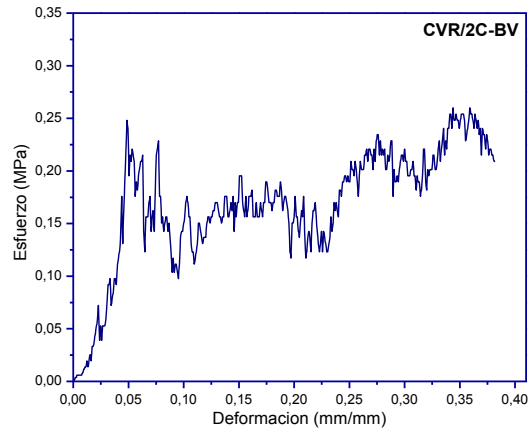
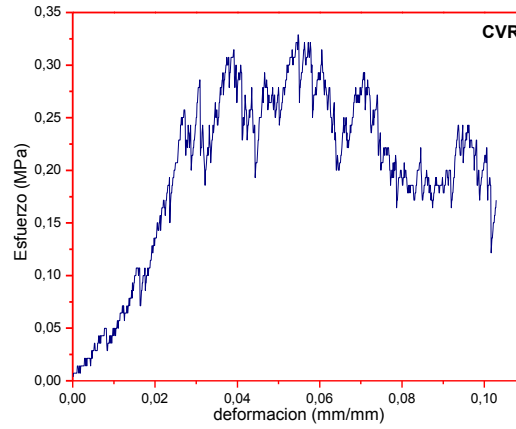
ZHANG, H., *et al.* Coating of open cell foams. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2012, vol. 51, no. 27, pp. 9250–9259.

ANEXOS

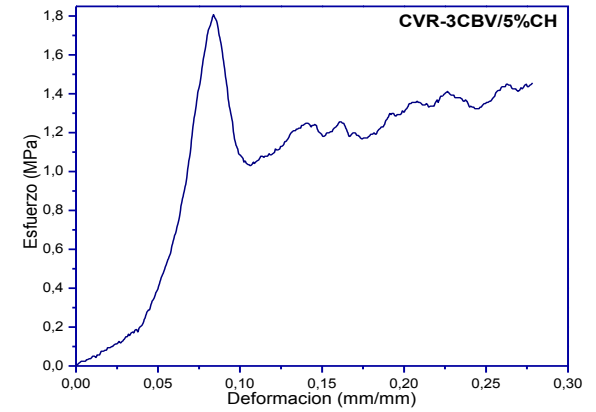
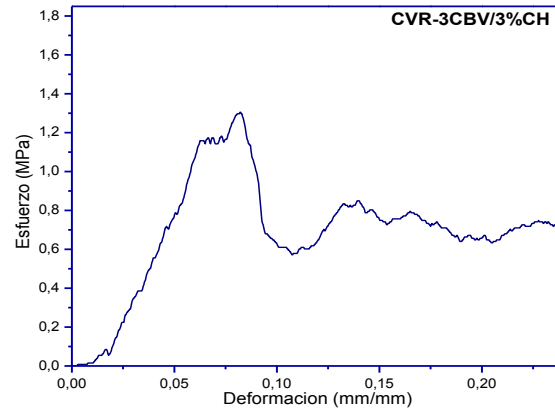
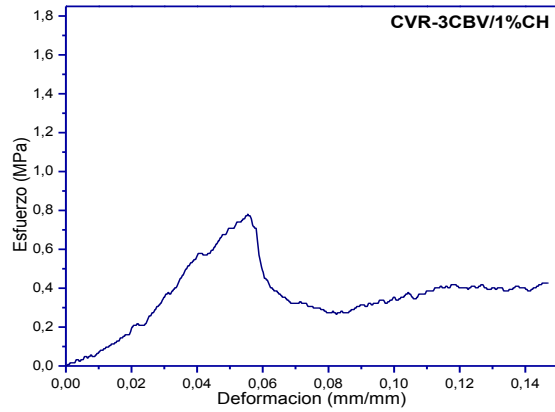
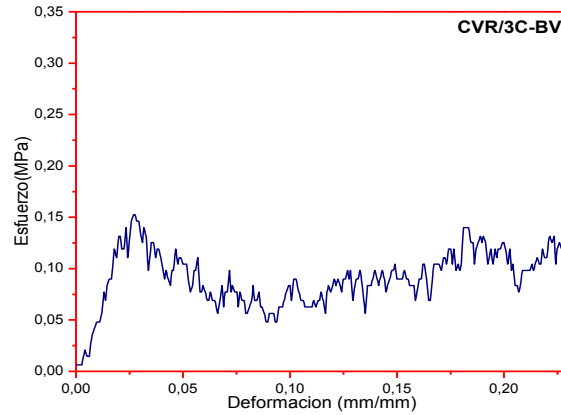
Anexo A. Micrografía óptica de los espesores de los ligamentos de las espumas CVR y CVR modificadas con biovidrio y biovidrio-chitosan.



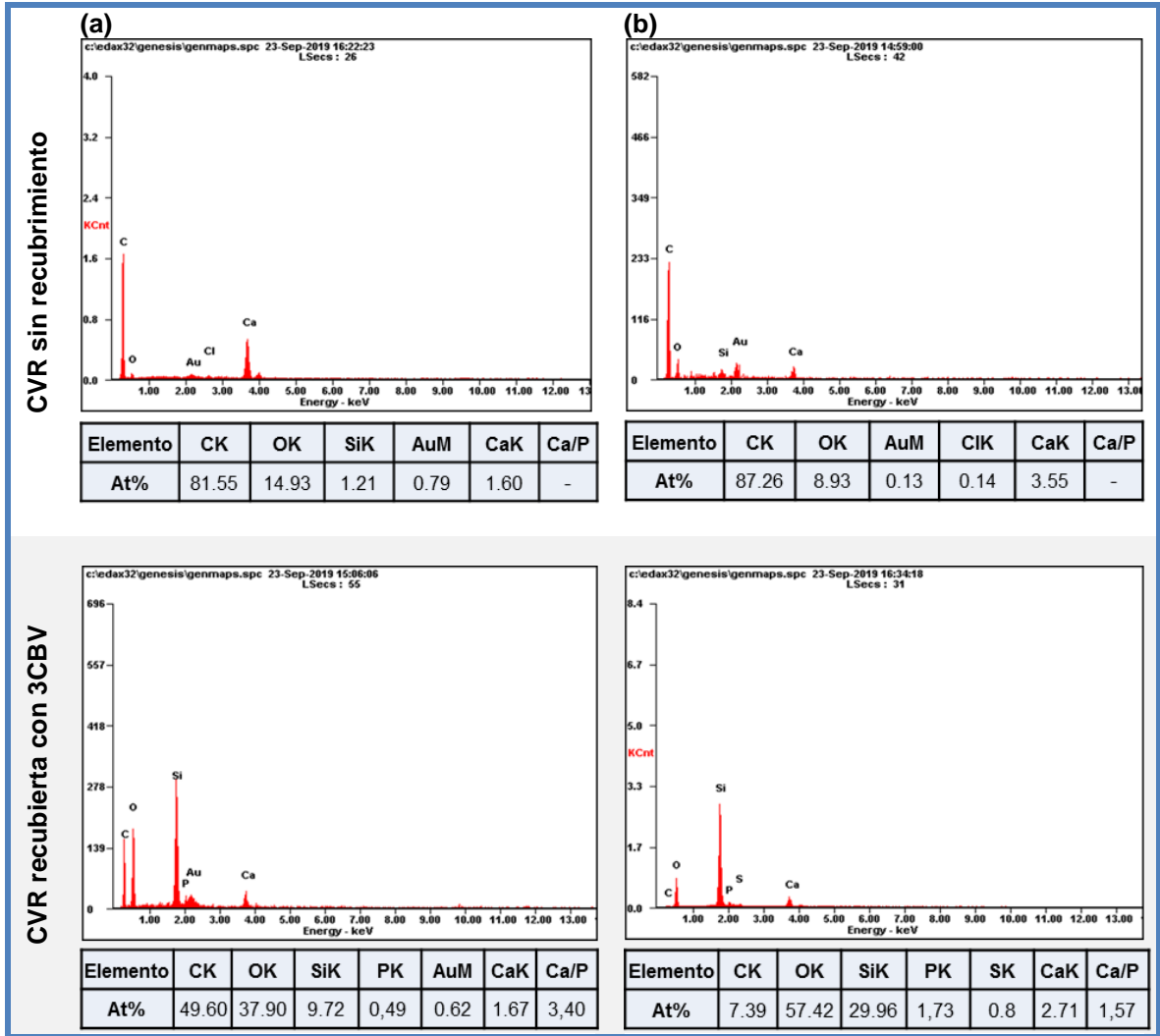
Anexo B. Curvas esfuerzo-deformación de las espumas CVR y CVR modificadas con (1, 2 y 3) capas de biovidrio.



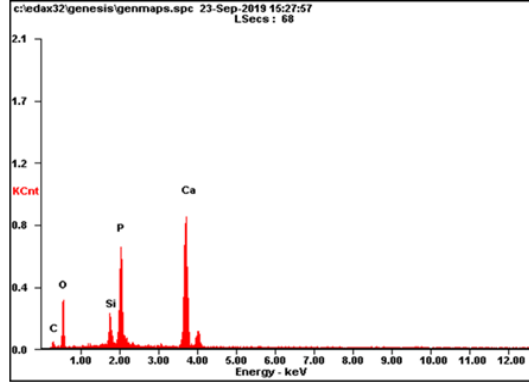
Anexo C. Curvas esfuerzo-deformación de las espumas CVR modificadas con biovidrio y biovidrio- solución de quitosán al 1, 3 y 5% p/v.



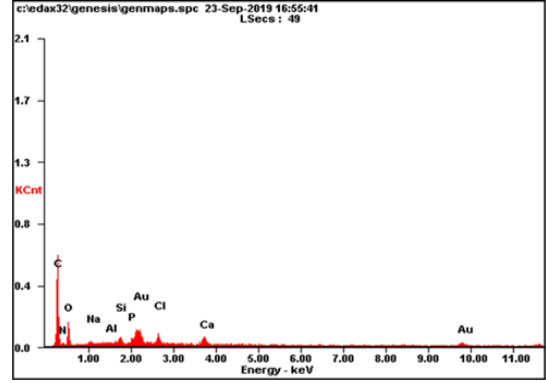
Anexo D. Espectros EDS de la espuma CVR sin modificar y modificadas con biovidrio y biovidrio-chitosan antes de inmersión en SBF (a) y después de inmersión por un tiempo de 7 días (b).



CVR/3CBV recubierta con 1%CH

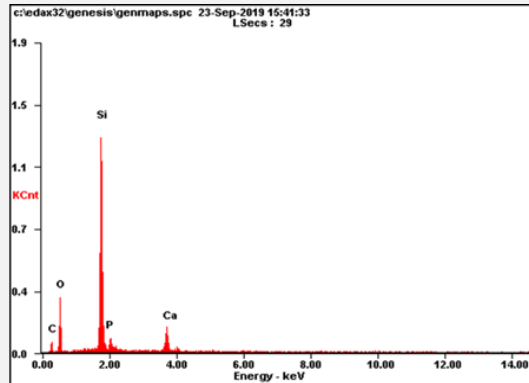


Elemento	CK	OK	SiK	PK	CaK	Ca/P
At%	15.29	56.66	3.86	10.84	13.35	1,23

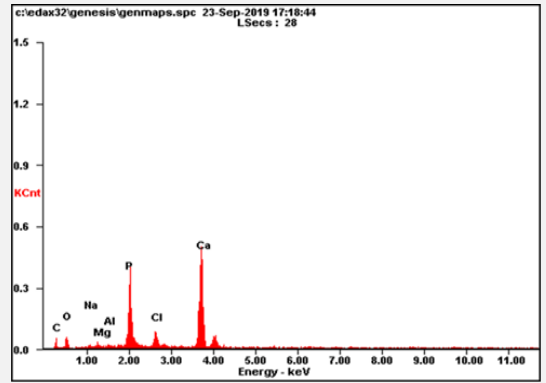


Elemento	CK	NK	OK	SiK	PK	AuM	CaK	Ca/P
At%	65.64	10,41	20.66	0.53	0,36	0.62	0.61	1,69

CVR/3CBV recubierta con 3%CH

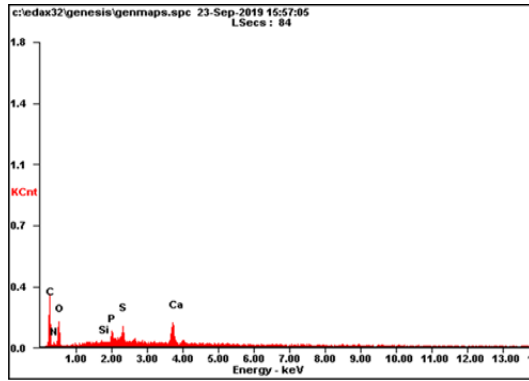


Elemento	CK	OK	SiK	PK	CaK	Ca/P
At%	27.58	45.77	22.30	1.90	2.45	1,29

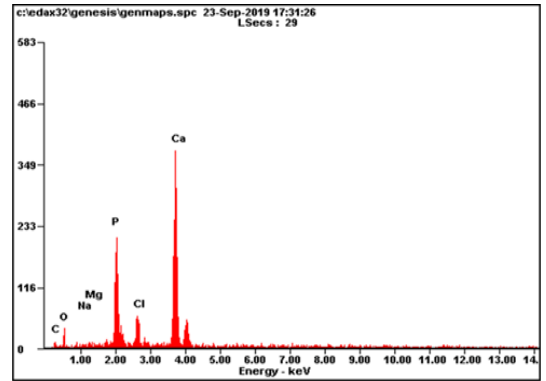


Elemento	CK	OK	NaK	MgK	PK	ClK	CaK	Ca/P
At%	35.50	32,33	1,56	1.19	11,09	2.59	15.39	1,39

4CVR/3CBV recubierta con 5%CH

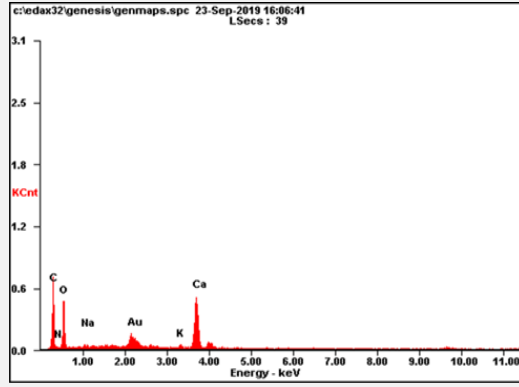


Elemento	CK	NK	OK	SiK	PK	SK	CaK	Ca/P
At%	55.42	11,48	28,77	0.11	0,98	1.25	1.99	2,03

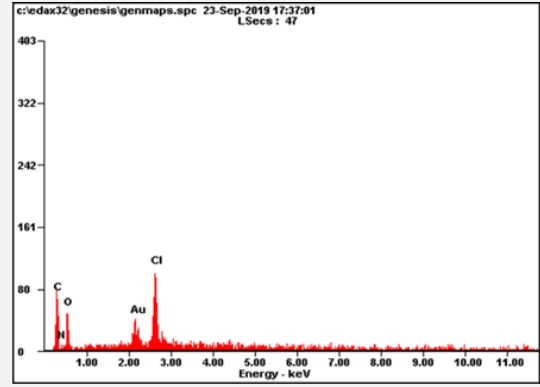


Elemento	CK	OK	NaK	MgK	PK	ClK	CaK	Ca/P
At%	18.0	36,37	1,51	1.15	13,87	4.39	24.71	1,78

CVR recubierta con 5 %CH



Elemento	CK	NK	OK	NaK	AuK	KK	CaK	Ca/P
At%	49.3	5,10	40,46	0.63	0,49	0,17	3.85	-



Elemento	CK	NK	OK	AuM	ClK	Ca/P
At%	62.32	8.22	24.80	0.62	4.03	-

Anexo E. Espectros FT-IR de las espumas sin modificar y modificadas con biovidrio y chitosán antes y después de inmersión por un tiempo de 4 días en SBF(a) Espuma CVR, (b) Espuma CVR/3CBV, (c, d, e) Espumas CVR modificada con solución 1, 3 y 5 % p/v de chitosán.

