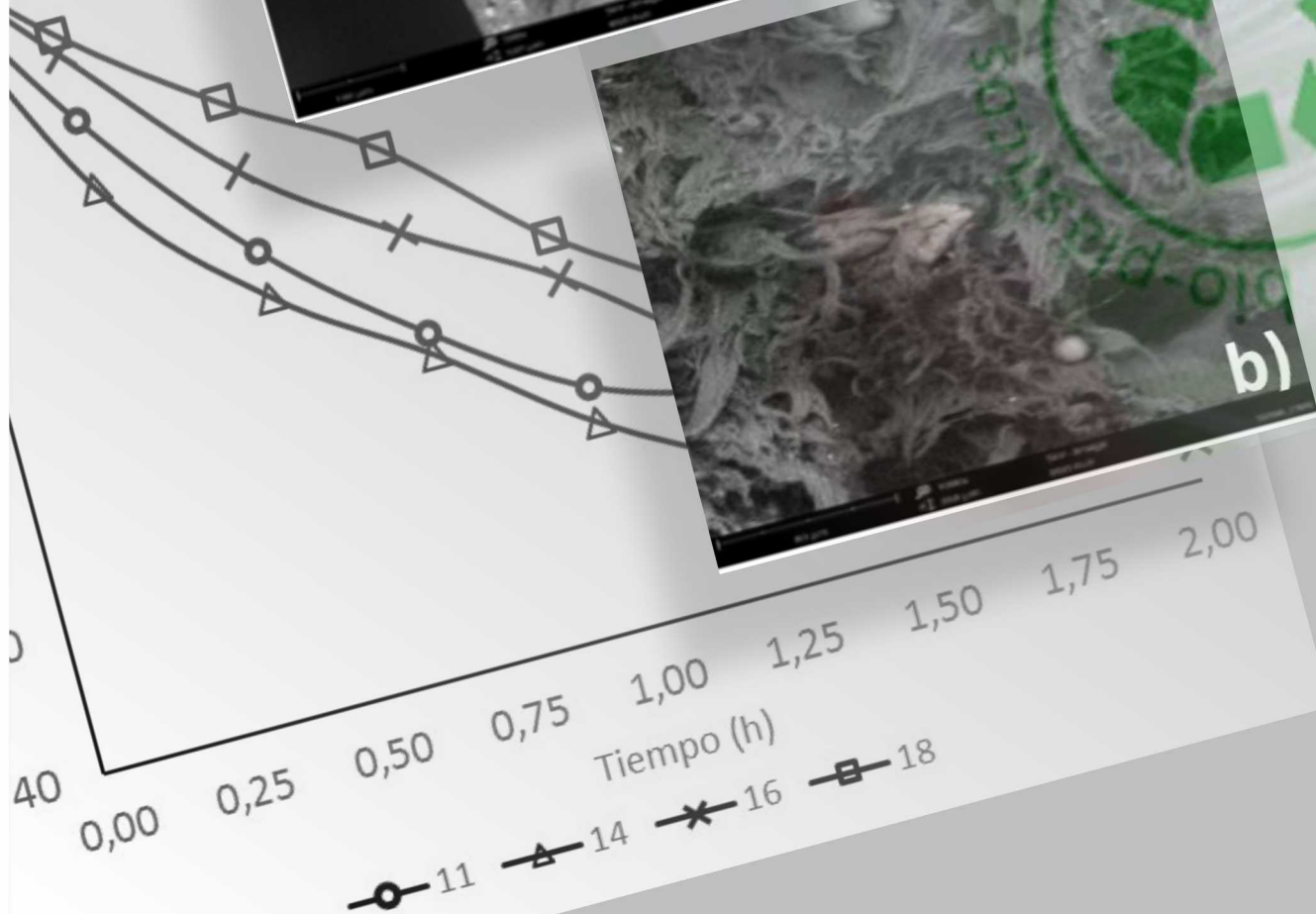
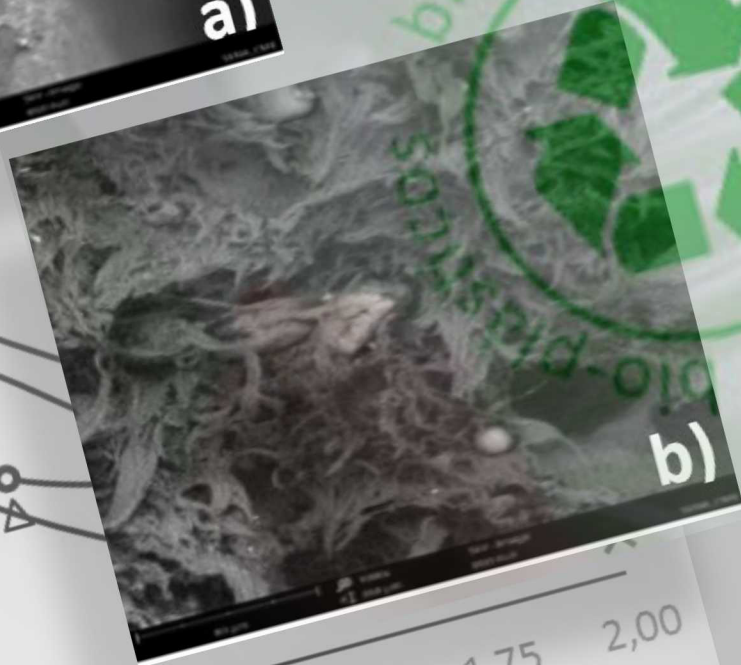
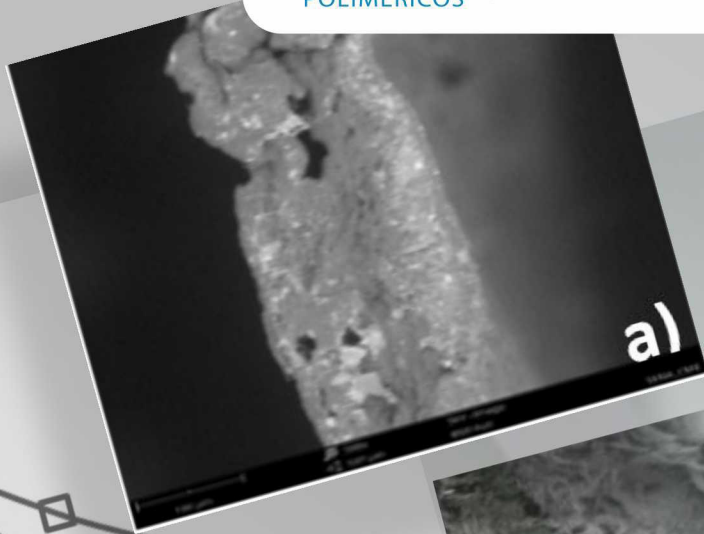




Biopolímeros

Revista Informador Técnico, Volumen 83 n2 - Suplemento I- 2019

V Simposio de Materiales Poliméricos - 28 y 29 de Octubre de 2019, Cali - Colombia

CONTENIDO

Innovación de productos biodegradables a través de materiales compuestos.....	87
Pedro Rodríguez Sandoval, Diana Lorena López Medina, Carlos Parga Horta	
Preparación y caracterización de un sistema polimérico bioartificial (SCAFFOLD) hecho de quitosano (QT) y alcohol polivinílico (PVA) con potencial en el desarrollo de viabilidad de células óseas	93
Juan Sebastian Ochoa Melo, Sebastian Ramírez Tarazona, Julián Camilo Ángel García, Andrés Bernal Ballén, Hugo Ramiro Segura Puello, Andrea Catalina Villamil Ballesteros, Diana Lorena Nieto Mosquera, Diana Milena Muñoz Forero	
Variables influyentes en la elaboración de bioplásticos a partir del ñame	100
María Bernarda Alvarado Bawab, Humberto Badel-Venera, Alix Iguarán-Rolón	
Estudio experimental para el establecimiento de protocolos para caracterizaciones de concentraciones de biopolímeros de diferentes medios acuosos (agua dulce, salmuera) utilizados en recobro mejorado a través de diferentes técnicas	105
Luisa Triana, Paola Vera, Carolina Ardila-Suárez, Rubén-Hernán Castro-García, Henderson-Iván Quintero-Pérez, Eduardo Manrique, Gustavo E. Ramírez-Caballero	
Nuevos biomateriales en regeneración pulpar: revisión de literatura	111
Ingrid Zamora, Gilbert Alfonso, Mayra Valencia	
Elaboración y evaluación de biopolímeros utilizando diferentes fuentes de almidón	116
Marta Jaramillo, Maira Hernández, Nicolás Duque, Ana Parra, Juan Aranzazu, María Muñoz, Luisa Roche, Manuel Pinzón	
Aprovechamiento de la semilla de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) tipo Hass para la extracción de almidón	120
Valerie Correa Albarán, Luis Eduardo Vallencilla Castro, Katerine Cárdenas Tobar, Marcelo Guancha	
Encapsulación y soporte de biomoléculas en nanopartículas poliméricas para aplicaciones biomédicas	124
Jorge A. Gutiérrez	
Preparación de membranas poliméricas electrohiladas a partir del aprovechamiento de residuos agroindustriales	125
Edwin Yesid Gómez-Pachón	

Innovación de productos biodegradables a través de materiales compuestos

Innovation of biodegradable products through composite materials

Modalidad: Poster

Pedro Rodríguez Sandoval¹
Diana Lorena López Medina²
Carlos Parga Horta³

¹ Sena Centro de Materiales y Ensayos, Gimes, Carrera 30 No. 17 B 25 Sur, Bogotá, Colombia, prodirguez@misena.edu.co

² Sena Centro de Materiales y Ensayos, Gimes, Carrera 30 No. 17 B 25 Sur, Bogotá, Colombia, dllopezmedina@misena.edu.co

³ Sena Centro de Materiales y Ensayos, Gimes, Carrera 30 No. 17 B 25 Sur, Bogotá, Colombia, carlosepargah@gmail.com

Resumen

En la actualidad, uno de los grandes problemas que afronta el hombre es el uso continuo de varias clases de polímeros sintéticos en todas las actividades que realiza cotidianamente. El creciente uso de estos materiales significó un rápido deterioro del medio ambiente, en varios casos irremediable. En respuesta a esta problemática, surge la necesidad de realizar mezclas polímeros sintéticos con polisacáridos de origen natural, generando un material compuesto que acelere su degradación. En este trabajo de investigación se obtuvo un material compuesto degradable en tres fases: la primera, la modificación del almidón de papa y mezclas con diferentes porcentajes para obtener un pellet; la segunda, la caracterización a través de pruebas mecánicas, microscopía óptica y degradación y la tercera, la transformación por los procesos de inyección y extrusión de productos industriales.

Palabras clave: biopolímeros; degradación; línea industrial; medio ambiente.

Introducción

El efecto que generan los polímeros sintéticos es debido a su uso desmedido y al hecho de que se requieren de miles de años para su degradación a nivel molecular. Es una creciente que ha causado contaminación en el planeta dado que la producción de polímeros genera CO y CO₂, lo cual puede originar incendios, deterioro de fuentes hídricas y del suelo y otros perjuicios en la naturaleza, las especies animales, plantas y zonas de cultivo, que coadyuvan a problemáticas de interés mundial como el cambio climático. Como contribución a la solución de esta problemática, se les brinda a los polímeros sintéticos, propiedades que aceleren su degradación por medio de la adición de materiales naturales como polisacáridos, los cuales están constituidos por amilosa y amilopectina y es considerado como un polímero con alto potencial para ser implementado en plásticos biodegradables debido a su abundancia en la naturaleza y bajo costo. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este proyecto fue la caracterización, verificación de la degradabilidad y la implementación de este nuevo material compuesto en los procesos de inyección y extrusión de piezas industriales.

Materiales y Métodos

Materia prima

Para la obtención de este material compuesto se utilizó como materia prima polietileno de baja densidad (PEBD) marca ECOPETROL referencia POLIFEN, almidón de papa modificado referencia ALMI 4 procesado por ALMICOR Ltda, glicerol y agua destilada.

Se realizó la operación de mezclado de almidón de papa con el glicerol al 3 % y agua destilada al 20 % y alistamiento de PEBD acuerdo a los porcentajes establecidos en el diseño experimental.

Procesos de Extrusión e Inyección

La transformación de este material compuesto se inició con el proceso de extrusión para integrar el almidón con sus aditivos y el polímero sintético para obtener pellets. Para esto se utilizó la máquina extrusora de doble husillo marca Thermo Scientific - Haake Rheomex referencia 05 PTW16, con la que se definieron los parámetros de transformación de la siguiente manera: temperatura entre 100 a 165 °C con un perfil ascendente en las diez zonas del cañón, temperatura de cabezal de 162 °C, presión de masa 5,3 Bar, revoluciones del tornillo de 70 RPM y torque de 16 N.

Posterior a este proceso, se realizó el procedimiento de inyección en la máquina inyectora marca Wittmann Smart, de 60 toneladas de fuerza de cierre y capacidad de inyección de 150 g con sus respectivos equipos periféricos, utilizando un molde de acero de dos cavidades de la probeta tipo corbatín según norma ASTM D-638. Se realizó la puesta a punto máquina y de los equipos periféricos como: mezcladores, molino de cuchillas y chiller de acuerdo a los tratamientos de 5, 15, 20 y 45 % de contenido de almidón para obtener probeta tipo corbatín como producto final. (Ver Figura 1).

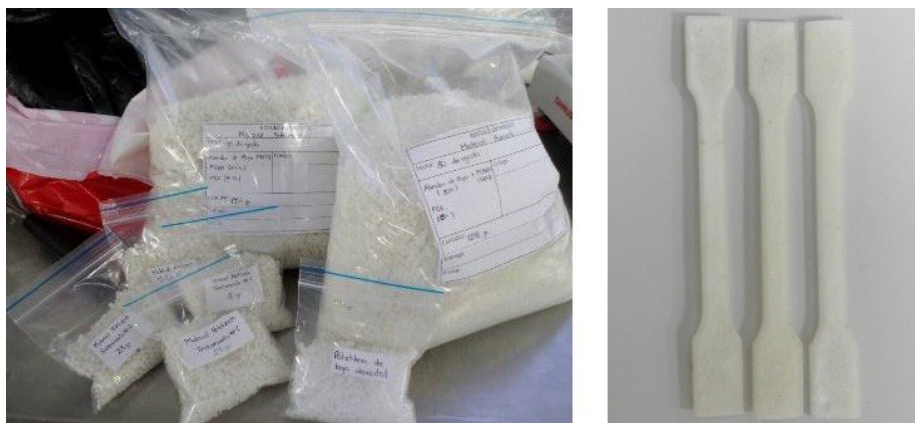


Figura 1. a) Obtención de los pellets. b) Obtención de las probetas tipo corbatín
Fuente: elaboración propia.

Caracterización material compuesto

Se determinó la verificación y comprobación de la degradación utilizando la norma ASTM D -6002 para el alistamiento y preparación del compost midiendo su pH, humedad relativa y temperatura, luego se seleccionaría probetas al azar de los diferentes tratamientos para introducirla bajo tierra siete centímetros (7 cm) durante seis meses sacando muestras cada mes para medir el CO_2 utilizando biómetros y desecadores. La verificación de las propiedades mecánicas se realizó mediante ensayos de tensión que se llevaron a cabo en la máquina universal marca BESMAK BMT-E de 5 toneladas de celda; la dureza tipo Shore relacionada con las propiedades elásticas y plásticas del material se realizaron con el durómetro marca Rex, para lo cual se implementó un indentador tipo A y estructural

por microscopía electrónica de barrido (SEM) en el equipo marca Phenom, modelo XL acoplado con analizador EDS (Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X) siguiendo las indicaciones de la norma ASTM D-5988.

Resultados y Discusión.

En el proceso de extrusión se obtuvieron filamentos de 3 mm de diámetro, los cuales se llevaron a la máquina peletizadora para obtener pellets de 3 mm de diámetro por 4 mm de longitud. En este proyecto se tuvieron en cuenta los resultados de los trabajos realizados por Ortiz *et al.*, (2013) y Rodríguez-Sandoval; Camargo-Silva; Cruz-Villagrán (2016) donde se procesó película y filamento con mezclas de polietileno de baja densidad con diferentes porcentajes de almidón de papa.

En el proceso de inyección se obtuvo como producto probetas tipos corbatín con los diferentes tratamientos con el material compuesto sin ningún problema, optimizando el ciclo de inyección en 21 segundos. Para el cuadro del proceso se tuvieron en cuenta el trabajos de investigación de Rodríguez-Sandoval; Muñoz-Prieto; Gómez-Pachón (2015).

En los ensayos de biodegradabilidad, de acuerdo a la norma ASTM D-5988, mostrados en la Figura 2 se analizó la producción del dióxido de carbono (CO_2) de la muestras del compost que se tomaron cada mes durante los seis meses del proceso de compostaje. Estas muestras se llevaron al biómetro para la incubación durante cinco días para medir la cantidad de CO_2 , demostrando que el material compuesto es biodegradable ya que el dióxido de carbono disminuye tanto en los días de incubación como con los meses de estar sometido al proceso de compostaje.

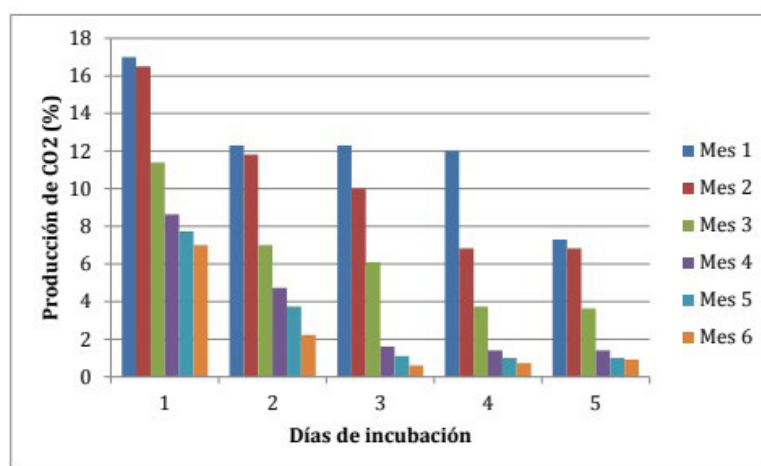


Figura 2. Producción de CO_2 del material compuesto durante proceso de compostaje
Fuente: elaboración propia.

Los ensayos mecánicos de dureza Shore A del material compuesto realizadas durante el proceso de compostaje nos da como resultado la disminución de esta propiedad mecánica, la cual se hace más notoria con los porcentajes de mayor cantidad de almidón, lo que indica la biodegradabilidad del material por medio biológicos presentes en el compostaje (ver Figura 3).

En los ensayos de tensión que se presentan en la Figura 4 se observan las curvas típicas de esfuerzos de deformación de los tratamientos analizados. Se diferencia por colores las líneas de la curva, siendo la verde la que contiene 5 % de almidón, la azul que contiene 15 %, la roja de 20 % y la morada de 45 % de almidón. La forma de las curvas es típica de un material polimérico termoplástico. Se evidencia que las propiedades mecánicas disminuyen al incrementar el porcentaje de almidón y durante el proceso de compostaje como se evidencia en la figura de las pruebas tomadas al mes y luego a los seis meses Los resultados de tensión han demostrado tener una pérdida de las características mecánicas a mayor tiempo de compostaje, indicando la degradación del material por medios biológicos (Rodríguez-Marín; Bello-Pérez; Yee-Madeira; González-Soto, 2013).

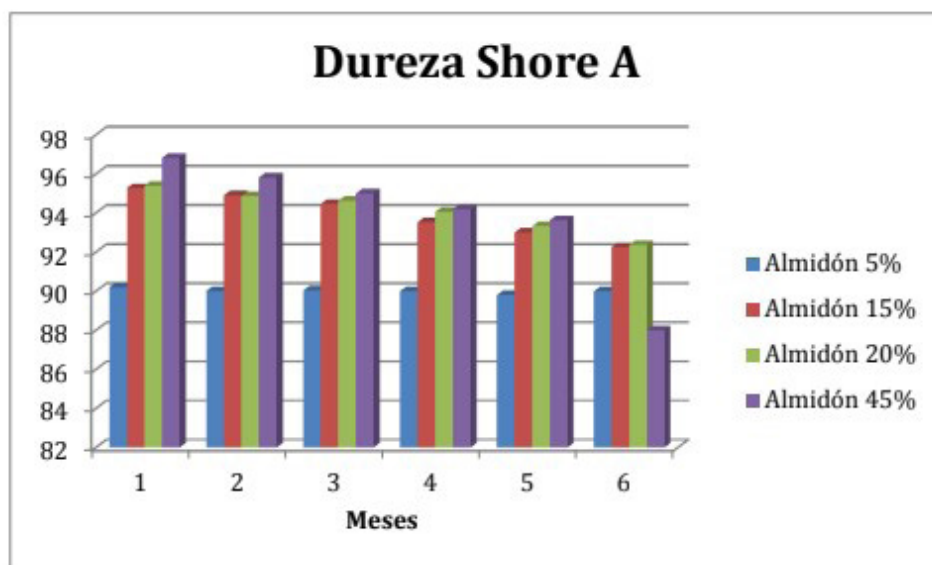


Figura 3. Prueba de dureza tipo Shore A material compuesto durante proceso compostaje
Fuente: elaboración propia.

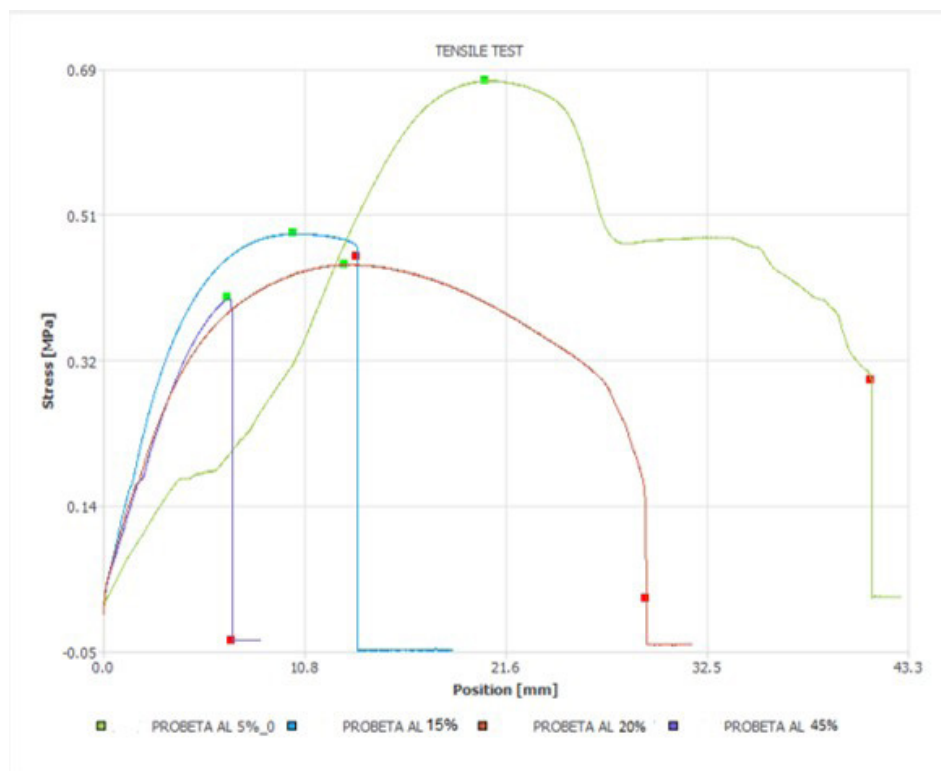


Figura 4. Pruebas de tensión para el biopolímero con diferentes contenidos de almidón de papa.
Fuente: elaboración propia.

En las imágenes de microscopía, su microestructura muestra que existen dos componentes; el almidón se presenta en forma de grano blanco mezclado con la base polimérica color gris.

En los ensayos de los diferentes tratamientos se observa que a mayor concentración de almidón de papa se tiene una mayor cantidad de poros y filamentos que se incrementan a través del proceso de compostaje. Comparado con los trabajos de investigación de Arévalo-Niño (1996) y Villada; Acosta; Velasco (2007), en el ensayo SEM, se observa que no existe homogeneidad en su microestructura (ver Figura 5).

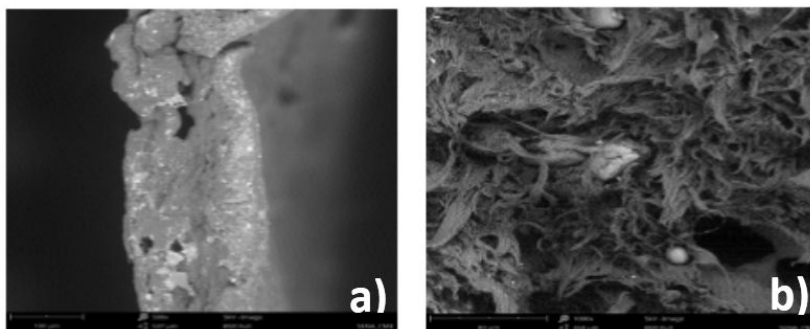


Figura 5. a) Microscopía del material compuesto antes del proceso de compostaje. b) después del proceso de compostaje
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Con este trabajo de investigación se muestra como resultados la obtención de un nuevo material compuesto que innovará los procesos de transformación de inyección y extrusión siendo amigable con el medio ambiente. Los resultados que se obtuvieron en las pruebas realizadas y analizadas según la norma ASTM D -5988, que comprueba la degradación del material, permitirá el procesamiento de productos de las líneas industriales y productos de un solo uso, logrando un aporte a la solución del problema de la contaminación ambiental que se presenta en el mundo.

Agradecimientos

Al subdirector del Centro de Materiales y Ensayos Regional Distrito Capital por el apoyo a este trabajo de investigación; al grupo SENNOVA, al grupo Gimes, a los integrantes del semillero de materiales compuestos y polímeros SIMCOMP por su trabajo y colaboración en este proyecto

Referencias

- Arévalo-Niño, K. (1996). *Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradación a nivel de laboratorio y campo* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. Recuperado de:
<http://eprints.uanl.mx/4767/1/1080073271.PDF>
- Rodríguez-Sandoval, Pedro; Muñoz-Prieto, Efrén; Gómez-Pachón, Yesid (2015). Obtención y caracterización de un biodegradable a partir de almidón de papa y polietileno de baja por inyección. En *I Simposio de materiales poliméricos, Informador Técnico*, 79. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Cali, Colombia.
- Ortiz, Moisés; Villalobos, María; Prado, Ma.; Peña, Adriana; Avalos, Tomás; Martínez, María; de León, Juan (2013). Desarrollo de una película plástica a partir de almidón extraído de papa residual. En Ramos, María; Aguilera, Virginia (Eds.) *Ciencias de la Ingeniería*



y tecnología. *Handbook T-1* (186-193). Guanajuato, México: ECORFAN. Recuperado de: <http://www.ecorfan.org/handbooks/pdf/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20Handbook%20T-I.pdf#page=197>

Rodríguez-Sandoval, Pedro; Camargo-Silva, Sandra; Cruz-Villagrán, Ingrid (2016). Transformación y caracterización de un bioplástico por los procesos de extrusión e inyección. En *II Simposio de materiales poliméricos, Informador Técnico*, 80(2). Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Cali, Colombia.

Rodríguez-Marín L. M.; Bello-Pérez L. A.; Yee-Madeira H.; González-Soto R. A. (2013). Propiedades mecánicas y de barrera de películas elaboradas con harina de arroz y plátano reforzadas con nanopartículas: Estudio con superficie de respuesta. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(1), 165-176.

Villada, Héctor; Acosta, Harold; Velasco, Reinaldo (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios*, 12(2), 5-19.
<https://doi.org/10.21897/rta.v12i2.652>

Preparación y caracterización de un sistema polimérico bioartificial (*SCAFFOLD*) hecho de quitosano (QT) y alcohol polivinílico (PVA) con potencial en el desarrollo de viabilidad de células óseas

Preparation and characterization of a bioartificial polymer system (*SCAFFOLD*) made of chitosan (QT) and polyvinyl alcohol (PVA) with potential in the development of bone cell viability

Modalidad: Poster

Juan Sebastian Ochoa Melo¹

Sebastian Ramirez Tarazona¹

Julián Camilo Ángel García¹

Andrés Bernal Ballén¹

Hugo Ramiro Segura Puello²

Andrea Catalina Villamil Ballesteros²

Diana Lorena Nieto Mosquera²

Diana Milena Muñoz Forero²

¹ Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica, Vicerrectoría de Investigaciones, Universidad Manuela Beltrán, Avenida Circunvalar No. 60-00, Bogotá 110231, Colombia

² Laboratorio de Investigaciones en Salud. Universidad Manuela Beltrán, Avenida Circunvalar No. 60-00. Bogotá 110231, Colombia

Resumen

Scaffolds hechos de quitosano (QT) y alcohol polivinílico (PVA) a diferentes concentraciones (2:1, 1:1, 1:2) fueron fabricados por el método de liofilización. Los cuerpos porosos obtenidos se caracterizaron por espectroscopía infrarroja (FTIR), grado de hinchamiento (*swelling*) y porosidad. Además, se evaluó la viabilidad celular a través de un ensayo MTT. El estudio FTIR demostró que hay fuertes enlaces de hidrógeno intermoleculares entre las moléculas de QT y PVA. Las pruebas de *swelling* y porosidad mostraron resultados favorables obteniéndose valores máximos de 5519 % y 72,17 % respectivamente. Las pruebas MTT determinaron que los materiales preparados no son citotóxicos. Estos hallazgos permiten sugerir que los *scaffolds* poseen propiedades adecuadas para ser usados en la ingeniería de tejidos.

Palabras clave: alcohol polivinílico; biomateriales; ingeniería de tejido; quitosano; scaffold.

Introducción

La ingeniería de tejidos es una alternativa importante en el desarrollo y futuro de la medicina y se centra en el estudio y desarrollo de substitutos biológicos para reparar o regenerar tejidos y órganos (Archana *et al.*, 2013). Una de las estrategias utilizadas para la regeneración de tejidos es el uso de *scaffolds*, los cuales son estructuras altamente porosas que sirven como molde para guiar la formación de un nuevo tejido (Thein-Han; Misra, 2009). El *scaffold* debe poseer características especiales que le permitan desarrollar su función sin crear una respuesta adversa en el cuerpo. Estas características son: biocompatibilidad con el tejido, biodegradabilidad a una frecuencia ideal que corresponda con la formación del nuevo

tejido, toxicidad nula, propiedades mecánicas óptimas y una morfología adecuada que permita el transporte de células, gases, nutrientes y metabolitos (Archana *et al.*, 2013). Para desarrollar un *scaffold* con estas propiedades, se han estudiado gran variedad de polímeros biodegradables de origen natural y sintético. Principalmente, se ha estudiado la mezcla de estas clases de polímeros, debido a que los polímeros naturales se conocen por tener mejores propiedades biológicas que los sintéticos, mientras que los sintéticos se destacan por sus propiedades mecánicas (Kanimozhi; Khaleel-Basha; Sugantha-Kumari, 2016). La combinación de estos materiales se conoce como sistemas poliméricos bioartificiales (SPBA) (Bernal-Ballen; Lopez-Garcia; Merchan-Merchan; Lehocky, 2018).

Existen múltiples razones clínicas para desarrollar estas alternativas referentes a ingeniería de tejidos óseo, incluida la necesidad de mejores materiales de relleno que puedan usarse en la reconstrucción de defectos ortopédicos grandes y la necesidad de implantes ortopédicos que sean mecánicamente adecuados para su entorno biológico. Los métodos biológicos tradicionales para el manejo de defectos óseos incluyen autoinjerto y aloinjerto de hueso. Aunque estos son tratamientos estándar, se encuentran defectos en su uso, los injertos son avasculares, además, el nuevo mantenimiento del volumen óseo puede ser problemático debido a la resorción ósea (Burg; Porter; Kellam, 2000).

En este contexto, se preparó y caracterizó un SPBA hecho de QT y PVA con el objetivo de evaluar las propiedades del *scaffold* y concluir si el sistema tiene potencial en regeneración ósea.

Materiales y Métodos

Materiales

Se utilizó QT de bajo peso molecular (des-acetilación 75 % - 85 %), PVA (130 000 g/mol, 99 % de hidrólisis), kit CytoSelect Marca Cell Biolabs, Inc., para el estudio de viabilidad celular por compuesto MTT o 3-(4,5- dimetiltiazol-2-ilo)-2,5-difeniltetrazol, y medio de cultivo DMEM (Dubelcco's Modified Eagle Medium) los cuales fueron adquiridos en Sigma Aldrich Colombia.

Métodos

Síntesis del *scaffold*

Se preparó una solución de quitosano (SQT) al 2 % m/v en ácido acético glacial 5 % v/v. El quitosano fue disuelto mediante agitación continua durante 24 h en una plancha de calentamiento marca Heidoplh MR 3001. Posteriormente, se preparó una solución de PVA (SPVA) al 2 % m/v con agua destilada a 80°C mediante agitación continua durante 24 h. Ambas soluciones fueron mezcladas en tres concentraciones diferentes, (i) 25 % SQT – 75 % SPVA, (ii) 50 % SQT – 50 % SPVA, (iii) 75 % SQT – 25 % SPVA. Posteriormente, las soluciones fueron vertidas en moldes cilíndricos de 2 cm de diámetro y 0,5 cm de alto, y congeladas durante 24 h a -20 °C. Finalmente, las soluciones (i), (ii) y (iii) fueron sometidas a un proceso de liofilización a aproximadamente 10^{-2} atm en un liofilizador Supermodulyo Freeze Dryer Marca Thermo Electron Corp, durante 48h hasta obtener los cuerpos porosos.

Pruebas de Caracterización

Espectrofotometría infrarroja de transformada de Fourier (FTIR)

Los espectros para QT, PVA, y las mezclas (i), (ii) y (iii) fueron obtenidos usando un espectrómetro Nicolet iS5 marca Thermo Fisher, equipado con un instrumento de reflectancia total atenuada (ATR), utilizando un cristal de Zn-Se. Cada espectro representa 64 escaneos co-agregados referenciados en contra de una celda ATR. El rango utilizado fue de 4000 a 650 cm^{-1} con una resolución de 1,92.

Prueba de Hinchamiento (Swelling)

La propiedad de un biomaterial de absorber agua influye en la conservación de la estructura del material y el crecimiento celular (Chawla, 1981; Alhosseini *et al.*, 2012). Se tomaron 3 muestras de cada espécimen que fueron pesadas después del proceso de liofilización (W_i) utilizando una balanza analítica KERHN & Sohn GmbH modelo D-72336. Posteriormente, cada espécimen fue sumergido en agua destilada a 20 °C y cada 3 s se retiraban, se secaba la humedad superficial con papel filtro y se pesaba inmediatamente (W_f). Finalmente, para determinar el porcentaje de hinchamiento (W_H), se utilizó la ecuación (1):

$$W_H(\%) = \left(\frac{W_f - W_i}{W_f} \right) * 100 \text{ Ec. (1)}$$

Prueba de Porosidad

La porosidad juega un rol importante en la síntesis de *scaffolds* debido a que los poros proveen nutrición para las células y tejido (Pandey; Srivastava; Gupta; Srivastava; Nidhi, 2016). Los *scaffolds* (peso seco, W) se midieron sumergiéndose en un volumen conocido de agua destilada (V) durante 10 min. El volumen total de agua destilada después de la impregnación en los *scaffolds* se registró como (V_1). Los *scaffolds* impregnados con agua destilada se retiraron del recipiente y el volumen residual se registro como (V_2). Los experimentos se realizaron por triplicado y el porcentaje de porosidad fue calculado mediante la ecuación (2):

$$P(\%) = \left(\frac{V_1 - V_2}{V_1} \right) * 100 \text{ Ec. (2)}$$

Ensayo de viabilidad celular (actividad metabólica) por reducción del compuesto MTT

Los *scaffolds* preparados fueron esterilizados mediante la ubicación en placas estériles marca NEST Biotech de 12 pozos, agregando 3 series de 2 mL v/v de etanol a concentraciones de 70 %, 50 % y 30 %. Cada serie de etanol fue agregada en intervalos de tiempo de 12 h. Posteriormente, se agregó solución fosfato salina (PBS) a cada espécimen con el fin de obtener un pH neutro, y un medio en el que las células puedan sobrevivir. Para el cultivo celular, las células fueron tripsinizadas, centrifugadas y resuspendidas en medio de cultivo DMEM. Se utilizaron placas de 12 pozos, en las que se incubaron osteoblastos. El proceso de incubación se realizó en una incubadora BINDER a 37 °C y 5 % CO₂. Después de 48 h de incubación, se agregó solución de MTT en cada pozo, y se incubó nuevamente de 100 a 120 min. Posteriormente, se retiró todo el medio suspendido en cada pozo y se agregó detergente DMSO, con el fin de solubilizar los cristales de formazan que se forman una vez se agrega el MTT. Los valores de absorbancia fueron medidos en un lector de ELISA Marca Biotek Modelo 800 TS a 590 nm.

Resultados y discusiones

Pruebas de Caracterización

Caracterización por FTIR

La caracterización por FTIR fue utilizada para evaluar los grupos funcionales de los polímeros. Los datos recopilados muestran el espectro FTIR del QT de bajo peso molecular. En la banda de 3000 a 2840 cm⁻¹ se evidencia el estrechamiento de los enlaces C-H de los grupos alquilo. Los picos observados en el intervalo de 1651 a 1346 cm⁻¹ muestran la presencia de la amida I, amida II y amida III, los cuales son grupos característicos del QT. También, los picos pronunciados en 1068 a 889 cm⁻¹ demuestran el estrechamiento de enlaces C-O presentes en el QT (Alhosseini *et al.*, 2012).

En el espectro FTIR para el PVA puro, el rango de 3447 a 3200 cm⁻¹ se puede observar el estrechamiento de los grupos O-H, debido a las fuerzas intermoleculares e intramoleculares de enlaces de hidrógeno (Alhosseini *et al.*, 2012). La banda observada entre 3000 y 2840 cm⁻¹ es el resultado del estrechamiento de enlaces C-H, y los picos mostrados entre 1730 y 1680 cm⁻¹

se deben al estrechamiento de enlaces C=O y C-O de los grupos acetato restantes del PVA (reacción de saponificación del acetato de polivinilo) (Chawla, 1981).

La Figura 1 muestra el espectro FTIR correspondiente a los especímenes (i), (ii) y (iii). En el rango de 3100 a 2800 cm^{-1} , se observa el estiramiento de enlaces C-H. En el rango de 3447 a 3200 cm^{-1} , se pueden observar las vibraciones de los grupos N-H y C-H (Alhosseini *et al.*, 2012; Navarro-Toro, 2005). Cada intervalo puede verse en los apartados (a) y (b) de la Figura 1.

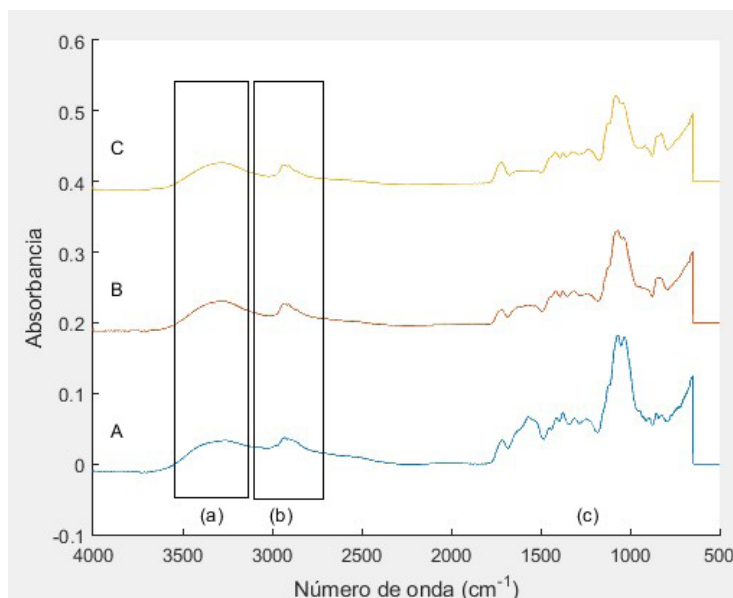


Figura 1. FTIR PVA + Quitosano. A. 75 % QT – 25 % PVA; B. 50 % QT – 50 % PVA; C. 25 % QT – 75 % PVA.
(a) Grupos N-H y O-H; (b) Estiramiento enlaces C-H.

Fuente: elaboración propia

Caracterización por swelling

Uno de los aspectos más relevantes a considerar en el estudio de *scaffolds* es su máximo grado de absorción de agua, ya que la capacidad de absorber y retener agua está directamente relacionada con la capacidad de difusión de nutrientes y oxígeno (Compañ; Guzmán; Riande, 1998).

En la Figura 2 se puede observar el porcentaje de *swelling* de los *scaffolds* para los especímenes (i) 75 % QT – 25 % PVA, (ii) 50 % QT – 50 % PVA y (iii) 25 % QT – 75 % PVA. Los tres especímenes absorbieron un gran porcentaje de agua con respecto a su peso en los 30 s iniciales, con valores de 4839 %, 3980 % y 3589 % para (i), (ii) y (iii), respectivamente. Así mismo, a partir de los 60 s el porcentaje de *swelling* para cada espécimen alcanzó un máximo de 5519 %, 4148 % y 3775 % para (i), (ii) y (iii), respectivamente. Los resultados muestran que el QT influencia en gran medida el volumen de *swelling* y lo reduce de 5519 % a 3775 % cuando es mezclado con PVA. La reducción en el volumen de *swelling* se puede atribuir a una red más rígida formada por las reacciones intermoleculares e intramoleculares de los polímeros (Pandey *et al.*, 2016). El aumento en el valor de *swelling* se puede explicar a través de la alta disponibilidad de los grupos amino, responsables de los enlaces no covalentes en el agua, que ocupan el espacio libre entre cadenas y aumentan el volumen de la muestra. El grado de reducción también depende de factores como el peso molecular de los componentes, pH, temperatura (Alhosseini *et al.*, 2012).

Caracterización por porosidad

La porosidad juega un rol importante en los *scaffolds* utilizados en ingeniería de tejidos porque los poros permiten la migración de las células y el crecimiento de vasos sanguíneos a través del *scaffold*. Además, los poros aseguran el intercambio efectivo de nutrientes y desechos entre las células y su microambiente (Alhosseini *et al.*, 2012). La porosidad encontrada

para los especímenes (i), (ii) y (iii) se muestra en la Tabla 1. Se puede observar que la porosidad máxima fue del espécimen (i), con la mayor concentración de QT. Así mismo, el valor mínimo de porosidad se presentó en el espécimen (ii), con una concentración equivalente de QT y PVA. No se obtuvo mayor diferencia en los porcentajes de porosidad de los especímenes (i), (ii) y (iii), esto se debe al proceso de liofilización utilizado en la síntesis del *scaffold*. En la literatura se puede encontrar que al manejar más ciclos en la liofilización el porcentaje de porosidad aumenta (Kanimozhi *et al.*, 2016), mientras que en la metodología de la presente investigación se utilizó un ciclo de liofilización para todos los especímenes. Esto se ve relacionado ya que las muestras en el momento de ser congeladas se someten a un aumento en la presión y el solvente pasa de fase líquida a gaseosa dejando un espacio en donde se forma el poro (Kanimozhi *et al.*, 2016). Generalmente, un alto grado de porosidad es una característica de un *scaffold* ideal utilizado en ingeniería de tejidos. Un gran espacio y nutrición para las células será dado por un *scaffold* con un nivel de porosidad alto (Kanimozhi *et al.*, 2016).

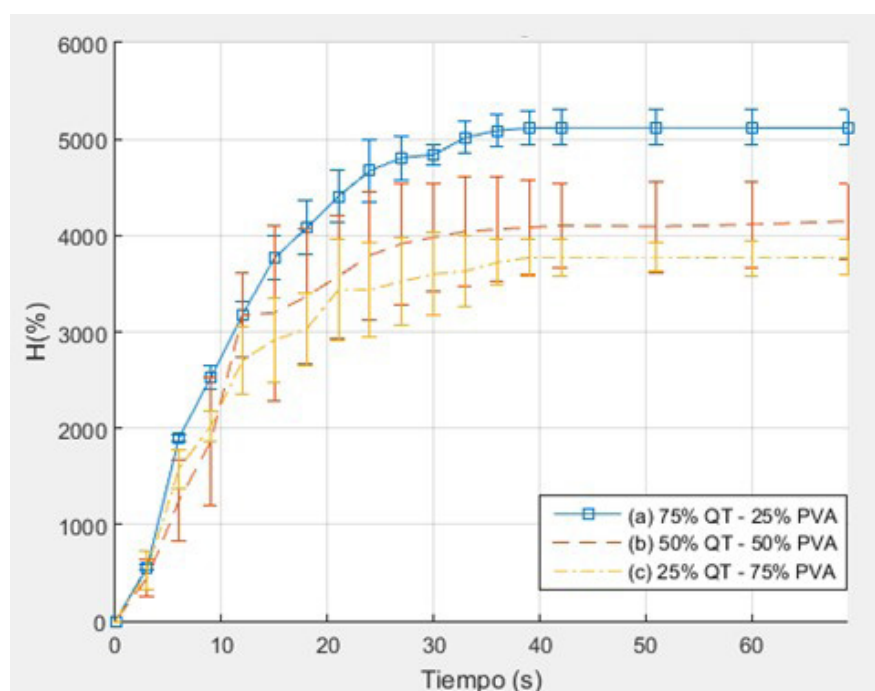


Figura 2. Curva de Hinchamiento de los *scaffolds* preparados.
Fuente: elaboración propia

Tabla 1.
Porcentaje de porosidad especímenes evaluados

Espécimen	Porosidad (%)
75% QT - 25% PVA	72,17 ± 4,56
50% QT - 50% PVA	70,12 ± 2,30
75% QT - 25% PVA	70,19 ± 0,38

Fuente: elaboración propia

Caracterización por medio del ensayo de viabilidad celular (actividad metabólica) por reducción del compuesto MTT

En ingeniería de tejidos un SPBA idóneo es aquel que además de tener excelentes propiedades mecánicas, no produzca efectos tóxicos o adversos cuando es aplicado en un tejido vivo. El efecto de los *scaffolds* en la viabilidad de supervivencia y proliferación de osteoblastos fue estudiado por medio del ensayo de viabilidad celular por reducción del compuesto MTT y los resultados pueden verse en la Figura 3.

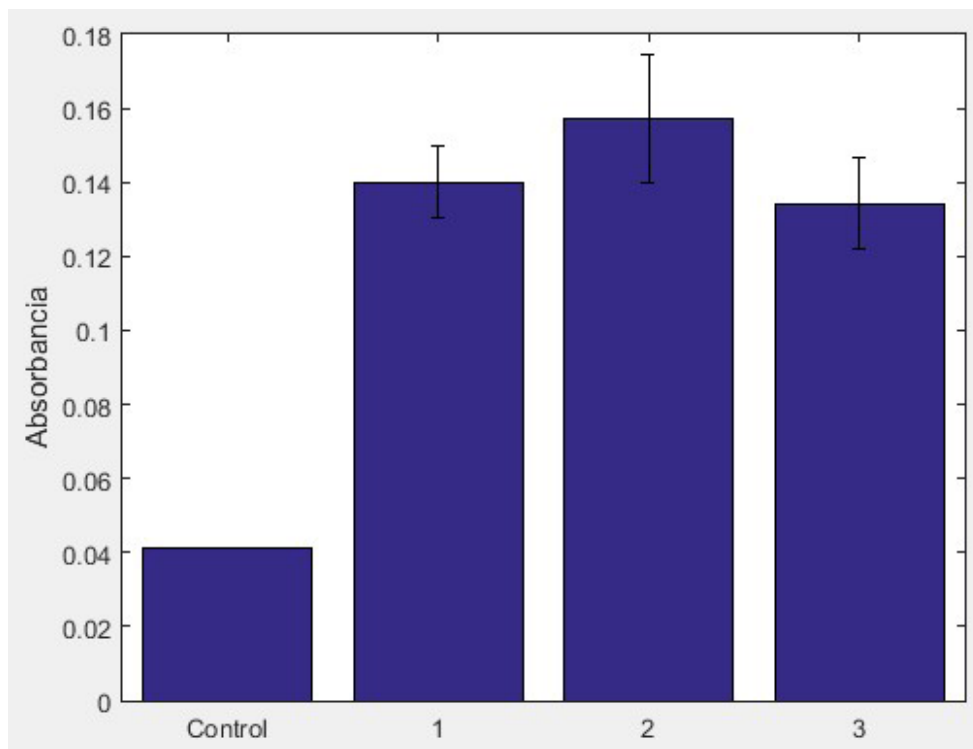


Figura 3. Valores absorbancia de los tres especímenes.
Fuente: elaboración propia

Se puede observar el nivel de absorbancia y desviación estándar obtenido para cada espécimen. Cada valor de absorbancia es el promedio de los valores de absorbancia en cada pozo. Estos valores fueron obtenidos del lector de ELISA. Se puede observar que el valor de absorbancia para los especímenes (i) (ii) y (iii) es considerablemente mayor al del control, lo cual demuestra la presencia de células adheridas al *scaffold* al final del ensayo. Los valores de absorbancia de los diferentes especímenes no presentaron mayor variación. Además, se puede observar que el menor valor de absorbancia se obtuvo en el espécimen con mayor cantidad de QT. Esto puede ser atribuido a la forma de los poros que puede tener el *scaffold*, la cual influencia la adhesión, proliferación y migración de las células (Alhosseini *et al.*, 2012). Así mismo, la alta absorbancia de los especímenes puede explicarse debido al alto nivel de biocompatibilidad que tiene el QT con los osteoblastos (Kanimozhi *et al.*, 2016), y a un adecuado proceso de esterilización.

Conclusiones

En esta investigación se sintetizó un *scaffold* compuesto de QT y PVA. Las pruebas de caracterización indican que la variación de concentración de QT y PVA afecta el comportamiento mecánico y biológico del material. Así, los valores obtenidos en porosidad fueron similares debido a que se utilizó una etapa de liofilización para las tres muestras, proceso el cual permite controlar los valores de esta propiedad. Adicionalmente, los resultados de *swelling* indican que en una concentración con mayor cantidad de QT el *scaffold* obtiene mejores propiedades de hinchamiento debido a la presencia de grupos hidrofílicos en una mezcla PVA-QT, los cuales dependen de la cantidad de PVA. Nuestros resultados coinciden con otros reportados en otras investigaciones. El ensayo MTT indica que debido a los altos valores de absorbancia en conjunto con el proceso de esterilización, se produjo proliferación celular, indicando que el *scaffold* produce un entorno favorable para que se dé el crecimiento celular. Es de destacar que el *scaffold* con mayor cantidad de QT presentó mejores propiedades tanto biológicas como mecánicas, lo que lo hace un candidato apropiado para profundizar su posible uso en el campo de la ingeniería de tejidos.

Agradecimientos

Al laboratorio de biología de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por permitirnos utilizar sus instalaciones para el desarrollo del trabajo.

Referencias

- Archana, D.; Upadhyay, Laxmi; Tewari, R. P.; Dutta, Joydeep; Huang, Y. B.; Dutta, P. K. (2013). Chitosan-pectin-alginate as a novel scaffold for tissue engineering applications. *Indian Journal of Biotechnology*, 12, 475-482. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/123456789/26232>
- Alhosseini, Naghavi; Moztafzadeh, Fathollah; Mozafari, Masoud; Asgari, Shadnaz; Dodel, Masumeh; Samadikuchaksaraei, Ali; Kargozar, Saeid; Jalali, Newsha (2012). Synthesis and characterization of electrospun polyvinyl alcohol nanofibrous scaffolds modified by blending with chitosan for neural tissue engineering. *International Journal Of Nanomedicine*, 7, 25-34. <https://doi.org/10.2147/IJN.S25376>
- Bernal-Ballen, Andres; Lopez-Garcia, Jorge; Merchan-Merchan, Martha; Lehooky, Marian (2018). Synthesis and Characterization of a Bioartificial Polymeric System with Potential Antibacterial Activity: Chitosan-Polyvinyl Alcohol-Ampicillin. *Molecules*, 23(12), 3109. <https://doi.org/10.3390/molecules23123109>
- Burg, Karen; Porter, Scott; Kellam, James (2000). Biomaterial developments for bone tissue engineering. *Biomaterials*, 21(23), 2347-2359. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(00\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(00)00102-2)
- Chawla, K. (1981). Composite materials 1980: a report on the 3rd International Conference on composite materials, Paris, August 26-29, 1980. *Materials Science And Engineering*, 48(1), 137-141. [https://doi.org/10.1016/0025-5416\(81\)90073-2](https://doi.org/10.1016/0025-5416(81)90073-2)
- Compañ, V.; Guzmán, J.; Riande, E. (1998). A potentiostatic study of oxygen transmissibility and permeability through hydrogel membranes. *Biomaterials*, 19(23), 2139-2145. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(98\)00113-6](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(98)00113-6)
- Kanimozhi, K.; Khaleel-Basha, S.; Sugantha-Kumari, V. (2016). Processing and characterization of chitosan/PVA and methylcellulose porous scaffolds for tissue engineering. *Materials Science and Engineering: C*, 61, 484-491. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.084>
- Navarro-Toro, Melba (2005). *Desarrollo y Caracterización de Materiales Biodegradables para Regeneración Ósea* (Tesis doctoral). Universitat Politècnica De Catalunya, Barcelona, España. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93360>
- Pandey, Ekta; Srivastava, Keerti; Gupta, Saurabh; Srivastava, Suravi; Nidhi, Mishra (2016). Some biocompatible materials used in medical practices- a review. *International journal of pharmaceutical sciences and research*, 2748-55.
- Thein-Han, W.; Misra, R. (2009). Biomimetic chitosan-nanohydroxyapatite composite scaffolds for bone tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, 5(4), 1182-1197. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2008.11.025>



Variables influyentes en la elaboración de bioplásticos a partir del ñame

Influential variables in the production of bioplastics from yam

Modalidad: Poster

María Bernarda Alvarado Bawab¹
Humberto Badel-Venera²
Alix Iguarán-Rolón³

¹ Institución Universitaria ITSA, grupo de investigación en Procesos Industriales y energías renovables, calle 17 No 39 - 100, Barranquilla, Colombia. mbalvarado@itsa.edu.co

² Institución Universitaria ITSA, Semillero de investigación de Materiales y Bioprocesos, calle 17 No 39 - 100, Barranquilla, Colombia. humbertobadel@gmail.com

³ Institución Universitaria ITSA, Semillero de investigación de Materiales y Bioprocesos, calle 17 No 39 - 100, Barranquilla, Colombia. alixvanesaiguaran@gmail.com

Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar los factores influyentes en el proceso de obtención de bioplástico a partir del ñame, para esto se realizó una descripción del proceso, se seleccionaron las variables objeto de estudio a partir de pruebas preliminares y de la elaboración de curvas de secado, se construyó un diseño de experimentos y su protocolo de experimentación minimizando los ruidos experimentales controlables, se analizaron los resultados mediante el análisis de normalidad de la varianza – ANOVA- y por último se estableció el efecto de cada uno de los factores en la obtención del biopolímero. Este trabajo, constituye la base para la optimización de recursos y el rendimiento del proceso de la elaboración de bioplásticos a partir del ñame.

Palabras clave: ácido acético; bioplástico; ñame; temperatura; tiempo.

Introducción

En la actualidad el mundo se ve envuelto en la creciente necesidad de desarrollar nuevos materiales que sustituyan a aquellos derivados del petróleo como son los plásticos. Existen muchos materiales residuales de la agricultura que se destruyen sin ser utilizados, o se utilizan de una forma poco económica, que pueden ser empleados como materia prima para la elaboración de nuevos productos biodegradables (Valarezo-Ulloa, 2012). La introducción del almidón en la obtención de polímeros biodegradables es de especial importancia por ser un recurso renovable que reemplaza los recursos no renovables como el petróleo, del cual se fabrican muchos polímeros sintéticos tradicionales.

Por otra parte, los residuos representan problemas que afectan la salud de los seres vivos y la estabilidad del ambiente. Los plásticos le dan innegables beneficios a la sociedad (Téllez-Maldonado, 2012), pero es el material más frecuente en los residuos y por ser derivado del petróleo es prácticamente indestructible y permanece en la extensión de la tierra por miles de años. En busca de mitigar este inconveniente se han realizado esfuerzos por desarrollar materiales cuyas características sean lo más similares posibles al plástico a partir de materias primas de origen vegetal como los biopolímeros cuya base es el almidón obtenido de diferentes vegetales como: el ñame (Tejada-Benítez *et al.*, 2008), la yuca (Valarezo-Ulloa, 2012), el aguacate, la papa, entre otros.

En el mundo existen 600 especies de ñame comestible y en Colombia se han identificado más de 80 especies entre las que se cultivan y las que crecen de manera silvestre (Avila-Tordecilla, 2013). Dentro de las clases de ñame más representativas en la Región Caribe tenemos: el ñame espino (criollo y mejorado), el ñame criollo (Peludo, manteca, plateño, azúcar, oso, y diamante), el ñame tumba y el yampin o familia; puede ser llamado de diferentes maneras en regiones específicas. El ñame espino ha sido empleado en este trabajo por ser el más producido en Colombia.

Materiales y Métodos

La metodología empleada para la obtención del bioplástico consistió en dos etapas: la extracción del almidón contenido y posterior elaboración del bioplástico.

Para la obtención del almidón se retiró la corteza, se picó y se lavó para obtener 300 g de pulpa de ñame. Se licuó agregando 300 gr de agua durante 3 min. Se filtró el líquido resultante y se dejó reposar durante 8 horas obteniendo un sedimento blanquecino definido en el fondo de la suspensión, se removió el agua y el sedimento se dejó secar durante ocho horas a temperatura ambiente obteniendo así el almidón del ñame.

Se planeó el diseño de experimento factorial completo con un nivel de confianza del 95 % en donde se evaluó el efecto de la masa de ácido acético y temperatura de procesamiento a fin de identificar las condiciones en las que se obtiene mayor cantidad de biopolímero como se presenta en la Tabla 1. Se llevaron a cabo las corridas experimentales con una réplica y de forma aleatorizada. Se realizó el análisis de normalidad de la varianza ANOVA empleando la herramienta computacional Statgraphics.

Tabla 1.
Diseño de experimentos factorial completo

Factor - Nivel	1	2	3
% ácido acético	14	19	22
Tiempo (h)	0,50	1	
Temperatura (°C)	180	220	

Fuente: elaboración propia.

Para la fabricación del bioplástico, el almidón obtenido se mezcló con 3,8g de glicerina, 5ml de agua destilada y ácido acético (m_{AA}) de acuerdo al tratamiento a realizar. La mezcla fue calentada a una temperatura dada (T) durante un tiempo (t) suministrándole agitación constante. Se depositó en un molde dejando enfriar durante 5 horas a temperatura ambiente.

Para obtener el diseño de experimentos planteado se realizaron pruebas preliminares evaluando varios métodos de procesamiento y otros factores que se mantuvieron constantes como la cantidad de glicerina, cantidad de agua, método de obtención del almidón, entre otros.

El presente análisis experimental tuvo por objeto estudiar la influencia de los factores cantidad de ácido acético, temperatura y tiempo sobre la pérdida de peso como variable de respuesta. Lo anterior, fue indispensable para construir las curvas de secado para cada tratamiento.

Resultados y discusiones

Con el fin de conocer el comportamiento del proceso de secado, se construyó la gráfica de la pérdida de peso en función del tiempo para diferentes fracciones de ácido acético en la formulación para la obtención del biopolímero a partir de ñame a 180 °C como se observa en la Figura 1.

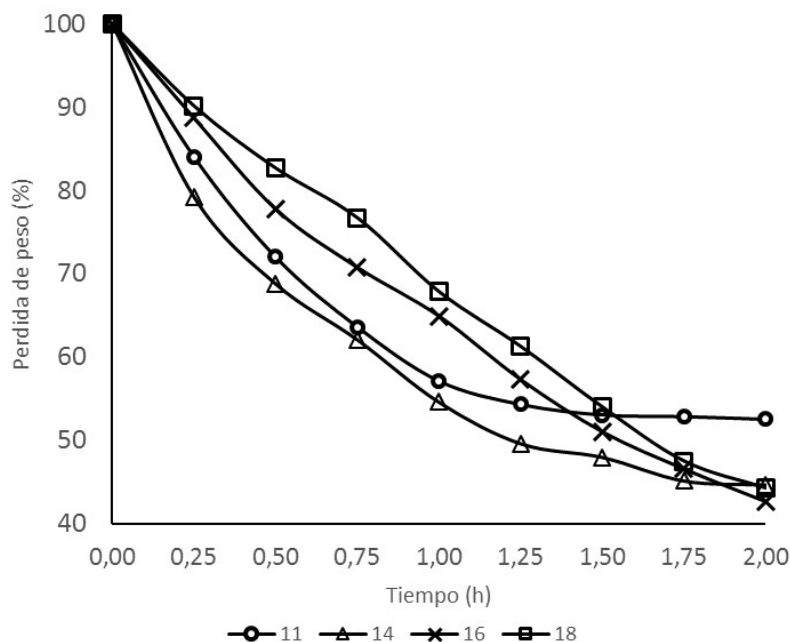


Figura 1. Curva de secado en función del porcentaje de ácido acético en el biopolímero a partir de almidón de ñame.
Fuente: elaboración propia.

De la Figura 1, se analiza que la curva de secado llega a su etapa estable en las menores concentraciones de ácido acético, por lo cual se infiere que el biopolímero logra concentrarse en aproximadamente una hora de procesamiento. Con base a estos resultados se decidió acotar el diseño de experimentos hasta este tiempo.

Para el análisis del diseño de experimentos se planteó la hipótesis nula y la hipótesis alternativa para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de pérdida de peso. El análisis de normalidad de la varianza – ANOVA – arrojó que el valor P para el tiempo, la temperatura y el porcentaje de ácido acético son menores que 0,05 al igual que para la interacción ácido acético – tiempo como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2.
Análisis de Varianza para % Pérdida de peso - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:% ácido acético	1145,15	2	572,575	133,22	0,0000
B:Temperatura (T)	223,382	1	223,382	51,98	0,0000
C:tiempo (t)	1179,08	1	1179,08	274,34	0,0000
INTERACCIONES					
AB	5,53653	2	2,76827	0,64	0,5424
AC	75,4105	2	37,7053	8,77	0,0045
BC	0,48735	1	0,48735	0,11	0,7421
ABC	10,8912	2	5,4456	1,27	0,3168
RESIDUOS	51,5742	12	4,29785		
TOTAL (CORREGIDO)	2691,51	23			

Fuente: elaboración propia

Los resultados del Análisis de Varianza arrojan que los tres factores estudiados son influyentes sobre la pérdida de peso durante el proceso.

De igual forma se presenta la gráfica de interacción de los factores (ver Figura 2), en esta se puede analizar que para obtener la mayor pérdida de peso se hace necesario llevar a cabo el proceso con la menor cantidad de ácido acético a la temperatura de 220 °C.

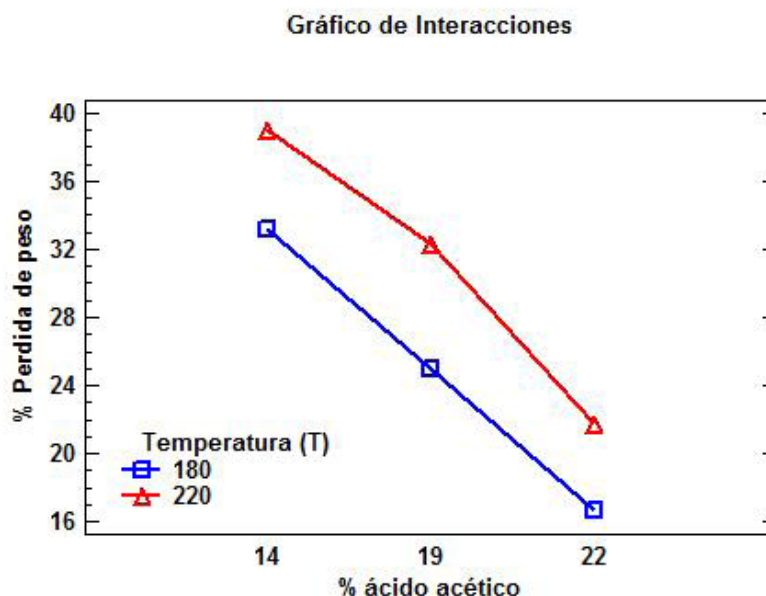


Figura 2. Gráfico de interacción para los factores influyentes en la elaboración de biopolímero a partir de ñame.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La temperatura, el tiempo y el porcentaje de ácido acético son factores influyentes en el proceso de elaboración de bioplástico a partir del ñame. Para obtener la mayor cantidad de bioplástico se recomienda trabajar con concentraciones bajas de ácido acético y una hora de secado a una temperatura por lo menos de 180 °C. Es necesario realizar análisis de caracterización estructural del producto obtenido y pruebas mecánicas para definir sus posibles aplicaciones en el mercado.

Agradecimientos

Se agradece a los estudiantes del semillero de investigación de materiales y bioprocesos por su empeño en el desarrollo de las corridas experimentales.

Referencias

Avila-Tordecilla, Manuel (2013). Manejo integrado del cultivo del ñame espino. Universidad De La Salle.
Recuperado de
<https://sites.google.com/site/cultivodenameencolombia/manejo-integrado-del-cultivo-de-name>

Tejeda-Benítez, Lesly; Tejeda-Tovar, Candelaria; Villabona-Ortiz, Angel; Tarón-Dunoyer, Arnulfo;



Barrios-Mindiola, Rusbelt; Tejeda-Benítez, Leanny (2008). Aprovechamiento del ñame espino (*dioscorea rotundata*) en la producción de bioplásticos. *Prospectiva*, 6(1), 68–74. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250973012>

Téllez-Maldonado, Alejandra (2012). La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/7080/>

Valarezo-Ulloa, María (2012). Desarrollo de biolímeros a partir de almidón de corteza de yuca (*Manihot esculenta*) (Tesis de pregrado). Universidad Técnica particular de Loja, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/2733>

Estudio experimental para el establecimiento de protocolos para caracterizaciones de concentraciones de biopolímeros de diferentes medios acuosos (agua dulce, salmuera) utilizados en recobro mejorado a través de diferentes técnicas

Experimental study for the establishment of protocols for characterization of biopolymer concentrations of different aqueous media (fresh water, brine) used in improved recovery through different techniques

Modalidad: Poster

Luisa Triana¹
Paola Vera¹
Carolina Ardila-Suárez^{1,2}
Rubén-Hernán Castro-García¹
Henderson-Iván Quintero-Pérez³
Eduardo Manrique³
Gustavo E. Ramírez-Caballero^{1,2*}

¹ Grupo de Investigación en Polímero y 2. Centro de Investigaciones en Catálisis, Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG), km 2 vía El Refugio, Universidad Industrial de Santander, Piedecuesta (Santander), 681011, Colombia.

³ Ecopetrol S.A.- Centro de Innovación y Tecnología (ICP), A.A. 4185. Km. 7 vía Piedecuesta (Santander), Colombia. *gusramca@uis.edu.co

Resumen

La recuperación mejorada de petróleo (EOR) surge con el propósito de aumentar el factor de recobro, permitir la extracción profunda y hacer de esta una práctica amigable con el medio ambiente. Uno de estos métodos consiste en la inyección de polímeros (contiguo a la inyección de agua), con el que se busca mejorar la relación de movilidad agua-petróleo, provocando el desplazamiento eficiente del aceite. Sin embargo, en la inyección de polímeros se debe considerar la retención de este en el material rocoso. Es por esto que ésta revisión implementa nuevas técnicas como la termogravimetría, conductividad y espectroscopía ultravioleta-visible, que en conjunto con modelos matemáticos, representan una alternativa prometedora para cuantificar la retención de polímeros en medios porosos.

Palabras clave: Medición concentración polímeros, recobro mejorado, TGA, UV-VIS, conductividad.

Introducción

La recuperación mejorada de petróleo hace referencia a la recuperación de petróleo mediante la inyección de fluidos como productos químicos, gases miscibles o bien sea la inyección de energía térmica (Sheng, 2011). En la actualidad, representa gran importancia debido a que los recursos petroleros se están agotando (Raffa; Broekhuis; Picchioni, 2016) y se hace necesario explorar en las reservas de los mismos. La inyección de agua es uno de los procesos de hidrocarburos más conocidos, que se

implementa con la finalidad de mantener la presión y proporcionar el desplazamiento dentro del yacimiento, pero debido a la diferencia de viscosidades entre el petróleo y el agua, este desplazamiento es inestable (Rashidi; Blokhuis; Skauge, 2010). Por ello, se inyecta un polímero, con el propósito de aumentar la viscosidad del fluido inyectado y conseguir la estabilidad necesaria del desplazamiento de esta.

Entre los polímeros más empleados en el recobro mejorado se destaca la poliacrilamida hidrolizada (HPAM), por sus buenas propiedades como viscosificador y características fisicoquímicas. Sin embargo, manifiesta limitaciones de temperatura y salinidad (Abidin; Puspasari; Nugroho, 2012), por lo cual se han implementado los biopolímeros que son resistentes y cumplen con los requisitos técnicos y ambientales del recobro mejorado, presentando una estabilidad química superior a la de los polímeros convencionales (Pu; Shen; Wei; Yang; Li, 2018).

En el proceso de recobro mejorado se presenta el factor de retención del polímero en el material rocoso, causada por la adsorción sobre la superficie del material y el entrapamiento mecánico en poros que son más pequeños en comparación con la molécula, provocando de esta manera **pérdida del polímero en solución**, baja eficiencia y retraso en la tasa de propagación (Nieto-Barrero; Ortega-García, 2016).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente y con el fin de implementar nuevas técnicas de caracterización que permitan cuantificar la retención de los polímeros en medios porosos, este trabajo se lleva a cabo gracias a la alianza entre Ecopetrol y la Universidad Industrial de Santander, en el marco de Ciencia y Tecnología en el recobro mejorado, donde se busca desarrollar protocolos prácticos para la caracterización de biopolímeros empleados en el recobro mejorado, mediante la integración de diferentes técnicas como lo son de termogravimetría, conductividad y espectroscopia ultravioleta-visible, técnicas más sencillas y factibles a las habituales, utilizando diferentes medios acuosos (agua dulce, salmuera), y de igual manera, establecer curvas de calibración que relacionen las concentraciones de polímeros convencionales y biopolímeros, con parámetros como absorbancia y conductividad, a partir de diversos modelos matemáticos.

Materiales

Los polímeros utilizados en estas pruebas fueron elegidos teniendo en cuenta su importancia en la industria del recobro mejorado, entre ellos se encuentran: el polímero sintético HPAM (Poliacrilamida hidrolizada) de muy alto peso molecular y los biopolímeros producidos en procesos de fermentación (Pu, *et al.* 2018), igualmente se trabajó con salmuera sintética de concentración representativa (aproximadamente 3900 ppm) que contenía NaCl, KCl, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ y $CaCl_2 \cdot 2H_2O$.

Las muestras analizadas en el TGA se prepararon con concentraciones desde 250 ppm hasta 1000 ppm, en el UV-VIS se trabajaron concentraciones desde 0 ppm hasta 1000 ppm, al igual que para las pruebas de conductividad. Con el fin de garantizar una mezcla completamente homogénea se tuvo en cuenta la norma API-RP-63 en la cual se establece un proceso estandarizado en el mezclado.

Métodos

Análisis termogravimétrico. Técnica que proporciona información cuantitativa sobre la cinética de la descomposición térmica de los materiales poliméricos a partir de los cuales se puede evaluar la estabilidad térmica, además presenta ventajas como tamaño de muestra pequeño, el material puede estar en diferente estado y el proceso de medición y obtención de resultados es relativamente rápido (Groenewoud, 2001). Para analizar el proceso de descomposición de las soluciones poliméricas, se realiza la caracterización de las muestras por el TGA usando una rampa de calentamiento de 10 °C/min hasta una temperatura final de 600 °C con un flujo de purga de nitrógeno de 25 mL/min. Las pruebas se realizaron por triplicado.

Conductividad. Método de prueba aplicable a la detección de impurezas y en algunos casos a la medición cuantitativa de los constituyentes iónicos disueltos presentes en el agua (Rodríguez-Machin; Hoffner; Stahl; Rivera-Borroto, 2008). Se pretende relacionar esta medida con el comportamiento de soluciones poliméricas (preparadas con salmuera), para así construir curvas de conductividad eléctrica en función de la concentración de polímero. Se agregó exceso de NaCl sobre las soluciones poliméricas, teniendo en cuenta que la mayoría de los yacimientos presentan altas salinidades y además se mejora la solubilidad del polímero (Rashidi, *et al.*, 2010). Finalmente se realizaron las mediciones de conductividad por triplicado empleando el electrodo de conductividad HI763100 HANNA edge.

UV-VIS con fenol y ácido sulfúrico. El fenol en presencia del ácido sulfúrico se usa para la determinación colorimétrica cuantitativa de los carbohidratos totales en una muestra de azúcares y sus derivados metílicos, oligosacáridos y polisacáridos (Dubois; Gilles; Hamilton; Rebers; Smith, 1956). Para este método se requirieron 2 mL de solución polimérica, y a esta se le agregó 1 mL de fenol al 5 % y 5 mL de ácido sulfúrico. Se dejó reposar la mezcla por 10 minutos y se agitó en un Vortex durante 30 segundos. Seguido, se enfrió la mezcla de 10 a 20 minutos y finalmente se leyó la absorción de luz UV a 490 nm empleando un espectrofotómetro UV-VIS.

Resultados y discusiones

Análisis termogravimétrico. Los termogramas de los polímeros en estudio se presentan en la Figura 1. Destaca inicialmente la pérdida de agua, la degradación del polímero y finalmente el remanente de cenizas.

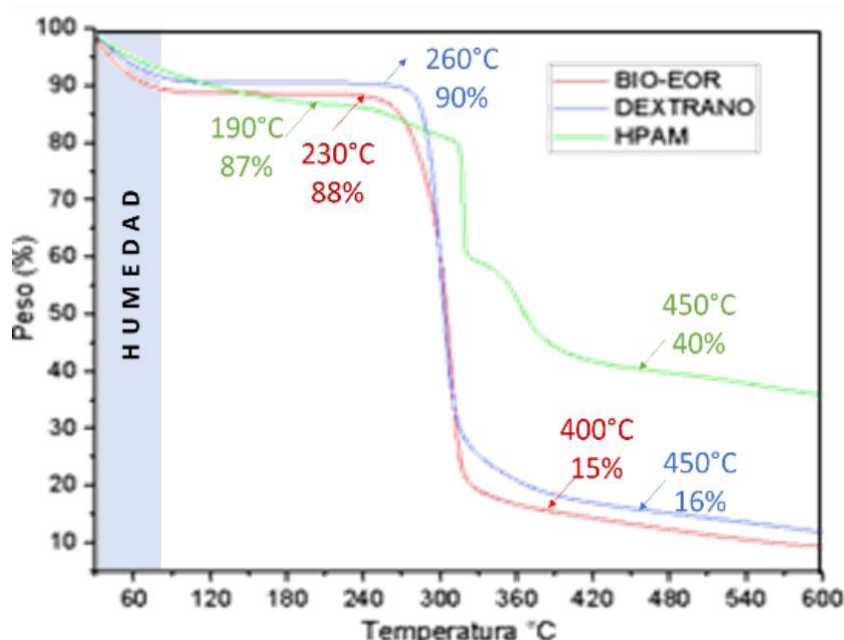


Figura 1. Termograma BIO-EOR, Dextrano y HPAM en estado sólido. Rampa de calentamiento 2 °C/min
Fuente: elaboración propia.

La estimación cuantitativa del polímero en salmuera se realizó teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la degradación de las soluciones poliméricas a diferentes concentraciones. El cálculo se estima a partir de las temperaturas de descomposición reportadas en los sólidos y ajustando las temperaturas de remoción de agua y descomposición de polímero, de manera que el error sea el más bajo.

Tabla 1.
Resultados de concentración del HPAM y BIO-EOR, con su respectivo error.

HPAM (Rango de temperatura de descomposición 190-450 °C)			BIO-EOR (Rango de temperatura de descomposición 240-400°C)		
Concentración teórica [ppm]	Concentración experimental [ppm]	Error [%]	Concentración teórica [ppm]	Concentración experimental [ppm]	Error [%]
1000	937,75	6,22	1000	1037,50	3,75
700	666,05	4,85	700	617,50	11,79
500	521,70	4,34	500	468,00	6,40
300	392,68	30,89	300	380,00	26,67
250	380,83	52,33	250	455,00	82

Fuente: elaboración propia.

En esta técnica se realizó un análisis para múltiples soluciones poliméricas con diferentes concentraciones que permitió correlacionar un método estandarizado, con el fin de establecer un protocolo basado en el comportamiento de manera sistemática para cada uno de los polímeros.

Conductividad. El exceso de NaCl sobre las soluciones poliméricas mejora la solubilidad del polímero, es decir, que a mayor concentración de NaCl, se obtiene una mayor solubilidad del polímero que a una concentración más baja de esta sal.

Cada una de las soluciones poliméricas preparadas tiene en común valores de conductividad con una ligera variación a medida que cambia la concentración de polímero, y se puede constatar en las pendientes de las ecuaciones, que presentan valores pequeños, en su mayoría en un orden de 10^{-4} . En la Figura 2 se presentan los resultados resumidos de las soluciones poliméricas por separado.

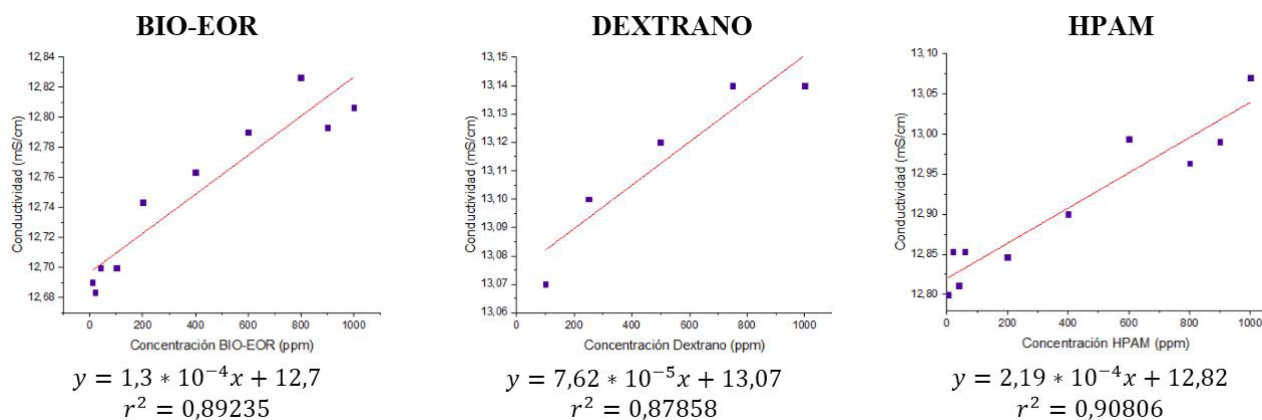


Figura 2. Gráficas obtenidas con las lecturas de conductividad de las soluciones poliméricas.
Fuente: elaboración propia.

UV-VIS fenol-ácido. Se evaluó la técnica de caracterización UV-VIS para 2 rangos diferentes de concentraciones (0-250 ppm) y (250-1000 ppm), se observó que la curva de calibración del método de UV-VIS fenol-ácido (ver Figura 3), presenta un comportamiento que se ajusta a una tendencia lineal con un coeficiente de determinación $r^2=0,95584$ y $r^2=0,95788$ respectivamente a cada rango de concentración, representando una alternativa prometedora para la medición de concentración de polímeros.

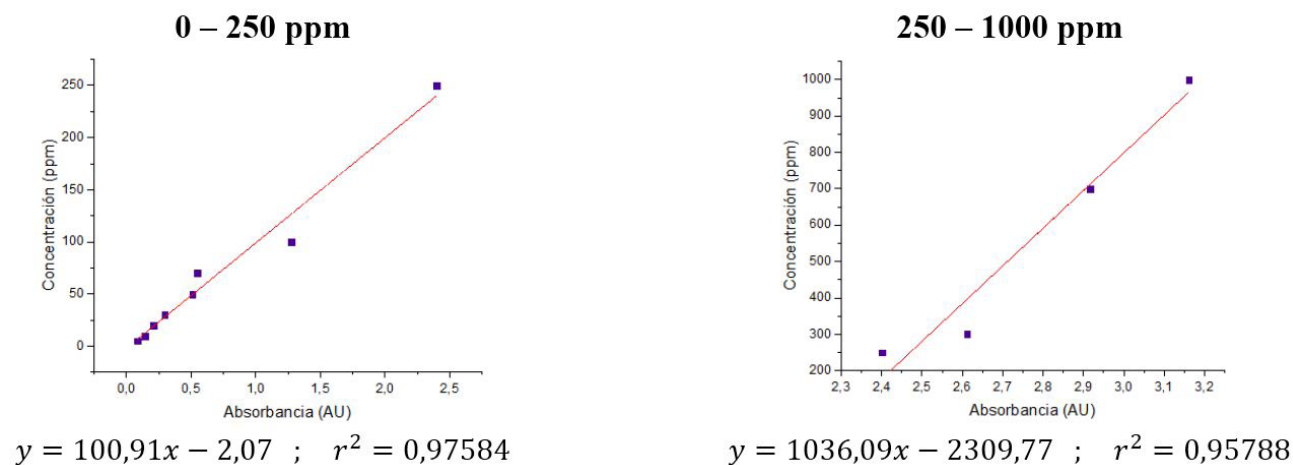


Figura 3. Resultados de concentración en función de la absorbancia, usando solución de BIO-EOR/salmuera.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Con esta investigación se logró establecer una serie de nuevas técnicas de cuantificación de polímeros más factibles y sencillas a las que se realizan industrialmente, encontrando métodos que contrarrestan esta dificultad y que, en conjunto con modelos matemáticos, aportan iguales beneficios en su caracterización. De esta manera se sugiere trabajar con todos los polímeros en las técnicas mencionadas, además se recomienda mejorar el método termogravimétrico ajustando el rango de temperatura para establecer una mayor precisión y asertividad en este.

Agradecimientos

El presente trabajo se encuentra financiado en el marco del acuerdo 25 derivado del contrato marco de cooperación 5222395, Alianza Universidad Industrial de Santander, UIS, y ECOPETROL S.A.

Referencias

- Abidin, A. Z.; Puspasari, T.; Nugroho W.A. (2012). Polymers for Enhanced Oil Recovery Technology. *Procedia Chemistry*, 4, 11-16.
<https://doi.org/10.1016/j.proche.2012.06.002>
- Dubois, Michel; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A.; Smith, Fred (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
<https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Groenewoud, W. M. (2001). Chapter 2: Thermogravimetry. En Groenewoud, W. M. (Ed.), *Characterisation of Polymers by Thermal Analysis*. Elsevier Science B.V., 61-76.
<https://doi.org/10.1016/B978-044450604-7/50003-0>
- Nieto-Barrero, Luisa; Ortega-García, Braulio (2016). *Evaluación técnico financiera para un proyecto de inyección de polímeros en el bloque río Ariari en la cuenca de los llanos orientales mediante simulación numérica de yacimientos* (Tesis de pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, 213pp. Recuperado de <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/626>



- Pu, Wanfen; Shen, Chao; Wei, Bing; Yang, Yang; Li, Yibo (2018). A comprehensive review of polysaccharide biopolymers for enhanced oil recovery (EOR) from flask to field. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 61, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.12.034>
- Raffa, Patrizio; Broekhuis, Antonius; Picchioni, Francesco (2016). Polymeric surfactants for enhanced oil recovery: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 145, 723-733.
<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2016.07.007>
- Rashidi, Masoud; Blokhus, Anne; Skauge, Arne (2010). Viscosity study of salt tolerant polymers. *Journal of applied polymer science*, 117(3), 1551-1557.
<https://doi.org/10.1002/app.32011>
- Rodríguez-Machin, Lizet; Hoffner, Bernhard; Stahl, Werner; Rivera-Borroto, Oscar (2008). La conductividad como herramienta para evaluar el funcionamiento del proceso de lavado en cama móvil. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 65(538), 457-462.
- Sheng, James (2011). Chapter 1: Introduction. En Sheng, James (Ed.), *Modern Chemical Enhanced Oil Recovery* (1-11). Gulf Professional Publishing.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-745-0.00001-2>

Nuevos biomateriales en regeneración pulpar: revisión de literatura

New biomaterials in pulp regeneration: literature review

Modalidad: Poster

Ingrid Zamora¹
Gilbert Alfonso²
Mayra Valencia³

¹ Universidad del Valle, Biomateriales dentales, ingrid.zamora@correounivalle.edu.co, Cali, Colombia

² Universidad del Valle, Biomateriales dentales, gilbert.morales@correounivalle.edu.co, Cali, Colombia

³ Universidad del Valle, Materiales Compuestos, valencia.mayra@correounivalle.edu.co, Cali, Colombia

Resumen

Se realizó una búsqueda bibliográfica en Pubmed, Lilacs, Medline via Ovid y Google Académico, se eligieron artículos según criterios de selección establecidos: estudios *in vitro* que evaluaran el efecto de quitosano, hidrogeles y óxido de grafeno sobre las células madre mesenquimales. Resultados: Se identificó un número total de 4406 referencias de las cuales, 4149 artículos fueron elegibles para revisión por título y resumen, se eliminaron 4129 que no cumplían los criterios de inclusión, por lo tanto, 20 artículos fueron seleccionados para evaluación de texto completo, se eliminaron 14, dejando finalmente 6 documentos para ser analizados en esta revisión, se realizó un análisis descriptivo. Conclusiones: todos los materiales evaluados son biocompatibles; sin embargo, el material que presentó mayor viabilidad celular es el quitosano.

Palabras clave: andamios del tejido; células madre de la pulpa dental; endodoncia regenerativa hidrogeles; quitosano; óxido de grafeno.

Introducción

La endodoncia regenerativa se ha definido como, un conjunto de terapias de ingeniería tisular basadas en la biología, que buscan reemplazar el complejo dentino pulpar afectado por caries, trauma o anomalías de desarrollo, tratando de restablecer las funciones fisiológicas de la pulpa dental y la curación de patologías periapicales, estas técnicas incluyen una triada de elementos: células madre, factores de crecimiento y andamios (Marí-Beffa; Segura-Egea; Díaz-Cuenca, 2017)

Los efectos de los biomateriales usados en los andamios sobre las células madre que forman parte de la triada de procedimientos de endodoncia regenerativa ha sido ampliamente investigado en un gran número de estudios, pero la elección del material ideal aún sigue siendo discutible (Murray; Garcia-Godoy; Hargreaves, 2007).

El objetivo de esta revisión de literatura fue buscar los resultados más actuales sobre el uso de nuevos biomateriales en matrices intracamerales que promueven la diferenciación de las células madre, con el objetivo de presentar un tratamiento alternativo en la endodoncia regenerativa.



Materiales y Métodos

Se realizó como pregunta PICO: ¿Cuál es el efecto del quitosano, los hidrogeles y el óxido de grafeno sobre las células madre de la pulpa dental en términos de biocompatibilidad, citotoxicidad y diferenciación celular?

Inicialmente para realizar la búsqueda decidimos normalizar algunos términos con el “MESH” “Decs” tesauros de Pub-Med y Lilacs respectivamente, adicionalmente se realizó búsqueda de los términos naturales adecuados para usar Google Académico.

Una vez normalizados los términos se realizó una búsqueda exhaustiva entre mayo y junio de 2019, sin límite de año incluyendo idiomas inglés y español en 4 bases de datos (PubMed, Lilacs, Medline Via Ovid y Google Academico) usando combinaciones entre las palabras clave (Chitosan, Alginates, Graphene Oxide, Dental Pulp Stem Cells, Dental Stem Cells, Mesenchymal Stem Cells, Scaffolds, Dental Pulp, Regenerative Endodontics) (ver Tabla 1).

Tabla 1.
Estrategia de búsqueda

BASE DE DATOS	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	TOTAL
PUBMED	(regenerative endodontics) AND scaffolds AND dental pulp stem cells OR Mesenchymal Stem Cells AND chitosan OR graphene oxide OR hydrogels	1931
LILACS	"regenerative endodontics" AND "scaffolds" AND "dental pulp stem cells" OR "Mesenchymal Stem Cells" AND "chitosan" OR "graphene oxide" OR "hydrogels"	49
MEDLINE VIA OVID	(((((regenerative endodontics and scaffolds and dental pulp stem cells) or Mesenchymal Stem Cells) and chitosan) or graphene oxide or hydrogels).mp. [mp=title, abstract, original title, name of substance word, subject heading word, floating sub-heading word, keyword heading word, organism supplementary concept word, protocol supplementary concept word, rare disease supplementary concept word, unique identifier, synonyms]	2301
GOOGLE ACADEMICO	"Células madre de la pulpa dental" y "Andamios del Tejido" de "Quitosano" o "Hidrogeles" o "Óxido de grafeno"	125

Fuente: elaboración propia

Resultados y discusiones

El propósito de esta revisión fue mostrar andamios bioactivos con posible indicación en procedimientos de endodoncia regenerativa, evaluando los efectos de estos sobre las células madre en cuanto a: biocompatibilidad, proliferación, supervivencia, viabilidad celular y posible potencial de mineralización. En total se analizaron 6 artículos descriptivamente.

El esquema de selección se resume en un diagrama (ver Figura 1).

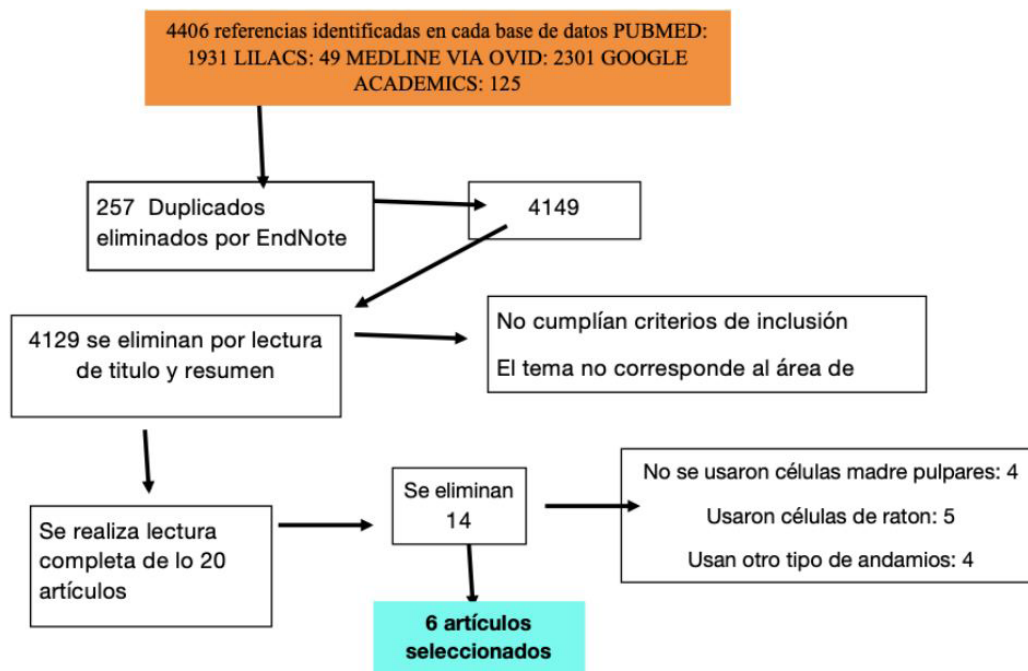


Figura 1. Diagrama de flujo esquema de selección.
Elaboración propia.

La pulpa dental a menudo se daña por infección cariogénica, traumatismo mecánico y procedimientos clínicos operativos. Un tratamiento endodóntico convencional para los tejidos de la pulpa infectada es la terapia del conducto radicular, que implica la extirpación de la pulpa inflamada, pero disminuirá la resistencia a la fractura y la capacidad de defensa contra la infección del diente. La regeneración de la pulpa dental es una de las estrategias terapéuticas más prometedoras, que promovería la reparación del complejo dentino - pulpar y mejoraría la calidad de vida del paciente. Cabe destacar que a medida que la biotecnología ha progresado, se han realizado varios intentos para establecer nuevos métodos para controlar mejor los parámetros de regeneración (Quin *et al.*, 2018).

Con los avances en ingeniería de tejidos y odontología regenerativa, los esfuerzos se han dirigido al desarrollo de andamios bioactivos para la regeneración de complejos de dentina y pulpa. El diseño de biomateriales en combinación con la liberación controlada de pistas de señalización para dirigir el destino de las células madre mesenquimales (MSC) hacia los fenotipos osteo / odontoblasticos es una estrategia terapéutica muy prometedora para lograr la ingeniería dental y craneofacial del tejido mineralizado. Para guiar la regeneración tisular adecuada, deben abordarse los aspectos deseables de la química de los andamios, incluida la creación de una red polimérica que imita los componentes de la matriz extracelular, permitiendo que se produzca la interacción celular (Soares *et al.*, 2018).

La elección de un andamio apropiado es un paso clave para las estrategias de ingeniería de tejidos. Un andamio ideal debería soportar la unión, la proliferación y la organización espacial tridimensional de la población celular necesaria para el reemplazo estructural y funcional del tejido objetivo (Chen *et al.*, 2016).

Por tal motivo, en esta revisión incluimos nuevos biomateriales usados en andamios para ingeniería de tejidos y ver su potencial en la regeneración del tejido pulpar, en donde encontramos que los andamios porosos de quitosano (CHSC), que poseen cadenas poliméricas estructuralmente similares a los glicosaminoglicanos (GAG), son un sustrato adecuado para la adhesión, proliferación y diferenciación odontoblastica de las células de la pulpa dental (DPC) con la señalización celular adecuada. Por lo tanto, los CHSC pueden ser útiles en la terapia de taponamiento pulpar directo porque pueden proporcionar una matriz biocompatible para la adhesión, proliferación y diferenciación de los DPC endógenos en células

similares a odontoblastos capaces de depositar y mineralizar la matriz de dentina, restaurando así la integridad de la dentina en el borde pulpa-dentina (Soares *et al.*, 2017).

También se observamos que la adición de ciertas moléculas usadas en el tratamiento de enfermedades sistémicas en medicina como es el caso del estudio de Qin W y col. del 2018 donde usan la simvastatina (SIM) indicada para el control de la hipercolesteremia, genera un potencial quimiotáctico para DPCs, lo que hace que estas células expresen fuertemente un fenotipo odontoblástico y depositen altas cantidades de matriz mineralizada (Soares *et al.*, 2018).

Continuando con los hidrogeles encontramos en el estudio de Cavalcanti y colaboradores donde emplearon el PuramatrixTM que es un hidrogel peptídico autoensamblable de 16 unidades que en solución acuosa se polimeriza instantáneamente formando un andamio biodegradable, que en las condiciones experimentales descritas mostró que las células madre de la pulpa dental sobrevivieron y proliferaron representando así una nueva y prometedora alternativa de andamios inyectables para la ingeniería de tejidos de pulpa dental (Cavalcanti; Zeitlin; Nör, 2013)

Por último se incluyó un estudio sobre el grafeno puesto que los nanomateriales basados en grafeno, especialmente el óxido de grafeno (GO), se han utilizado para mejorar el rendimiento de los implantes y como andamios de ingeniería de tejidos para apoyar la unión, proliferación y diferenciación celular (Olteanu *et al.*, 2015).

Debido al desarrollo de diversos materiales basados en el grafeno, es necesario comprender su interacción con los sistemas biológicos, lo que puede llevar a posibles efectos tóxicos locales y sistémicos. Las aplicaciones biológicas del grafeno dependen del método de síntesis y funcionalización. Una de las estrategias más accesibles para la síntesis de grafeno es la oxidación química del grafito, seguida de su exfoliación y reducción química / térmica. La modificación química del grafeno con una fuente de nitrógeno da como resultado un material dopado con N, que muestra una mejor dispersabilidad en agua y propiedades menos tóxicas. Las propiedades toxicológicas de los nanocompuestos basados en grafeno pueden variar de un nanomaterial a otro y, por lo tanto, su cuidadosa caracterización estructural sigue siendo un tema importante (Olteanu *et al.*, 2015).

En el estudio de Olteanu D y colaboradores se observó el potencial citotóxico de tres materiales: óxido de grafeno (GO), óxido de grafeno reducido térmicamente (TRGO) y grafeno dopado con N (N-Gr), en células madre de folículos dentales humanos. Mostrando que el (GO) y (N-Gr) generaron buenos resultados en términos de niveles bajos de citotoxicidad y daño inducido a las mitocondrias en las células madre. Esta investigación abre la posibilidad de un futuro uso de este material como relleno en diversos materiales dentales de nanocompuestos (Olteanu *et al.*, 2015).

Conclusión

El desarrollo de nuevos andamios adecuados para endodoncia regenerativa se visualiza como un nuevo campo de investigación de materiales dentales. El siguiente paso para la ingeniería del tejido de la pulpa dental sería comprender cómo se comporta esta clase de andamios en condiciones clínicas. Más específicamente, será importante saber si las propiedades físicas y mecánicas de estos andamios son adecuadas para el uso clínico, y comprender si permiten la diferenciación odontoblástica completa, medida por la deposición de nueva dentina tubular. Esta revisión representa un paso inicial en la caracterización de esta clase de andamios para la ingeniería del tejido de la pulpa dental.

Agradecimientos

A la escuela de Odontología Universidad del Valle y al doctor Carlos Valencia por su apoyo y continuo acompañamiento.

Referencias

- Cavalcanti, B.; Zeitlin, B.; Nör, J. (2013). A hydrogel scaffold that maintains viability and supports differentiation of dental pulp stem cells. *Dental materials* , 29(1), 97-102.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.08.002>
- Chen, Y.; Zhang, F.; Fu, Q.; Liu, Y.; Wang, Z.; Qi, N. (2016). In vitro proliferation and osteogenic differentiation of human dental pulp stem cells in injectable thermo-sensitive chitosan / b-glycerophosphate / hydroxyapatite hydrogel. *Journal of Biomaterials Applications* , 31(3), 317-327.
<https://doi.org/10.1177/0885328216661566>
- Marí-Beffa, Manuel; Segura-Egea, Juan; Díaz-Cuenca, Aránzazu (2017). Regenerative Endodontic Procedures: A Perspective from Stem Cell Niche Biology. *Journal of Endodontics* , 43 (1), 52-62.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.09.011>
- Murray, Peter; Garcia-Godoy, Franklin; Hargreaves, Kenneth (2007). Regenerative Endodontics: A Review of Current Status and a Call for Action. *Journal of Endodontics*, 33(4), 377-390.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.09.013>
- Olteanu, Diana; Filip, Adriana; Socaci, Crina; Biris, Alexandru; Filip, Xenia; Coroş, Maria; Rosu, Marcela; Pogacean, Florina; Alb, Camelia; Bâldea, Ioana; Bolfa, Pompei; Pruneanu, Stela (2015). Cytotoxicity assessment of graphene-based nanomaterials on human dental follicle stem cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* , 136(1), 791-798.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.10.023>
- Qin,Wei; Chen, Jia-Yao; Guo, Jia; Ma,Tao; Weir, Michael; Guo, Dong; Shu,Yan; Lin, Zheng-Mei; Schneider, Abraham; Xu, Hockin (2018). Novel Calcium Phosphate Cement with Metformin-Loaded Chitosan for Odontogenic Differentiation of Human Dental Pulp Cells. *Stem Cells International*, 2018.
<https://doi.org/10.1155/2018/7173481>
- Soares, Diana; Anovazzi,Giovanna; Alves-Bordini, Ester; Zuta, Uxua; Silva-Leite, Maria; Basso, Fernanda; Hebling, Josimeri; de Souza-Costa, Carlos (2018). Biological Analysis of Simvastatin-releasing Chitosan Scaffold as a Cell-free System for Pulp-dentin Regeneration. *Journal of Endodontics* , 44(6), 971-976.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.02.014>
- Soares, Diana; Rosseto, Hebert; Salles-Scheffel, Débora; Gonçalves-Basso, Fernanda; Huck, Claudia; Hebling, Josimeri; de Souza Costa, Carlos (2017). Odontogenic differentiation potential of human dental pulp cells cultured on a calcium-aluminate enriched chitosan-collagen scaffold. *Clinical Oral Investigations*, 21(9), 2827-2839.
<https://doi.org/10.1007/s00784-017-2085-3>



Elaboración y evaluación de biopolímeros utilizando diferentes fuentes de almidón

Development and evaluation of biopolymers using different sources of starch

Modalidad: Poster

Marta Jaramillo¹
Maira Hernández²
Nicolás Duque³
Ana Parra³
Juan Aranzazu⁴
María Muñoz⁵
Luisa Roche⁶
Manuel Pinzón⁷

¹ Tecnoacademia Risaralda, grupo de investigación, Merkator, Dosquebradas, Colombia.
Autor de correspondencia: mcjaramillo@sena.edu.co ; marcejarajc1@gmail.com

Resumen

En este trabajo se propone la elaboración y la evaluación de biopolímeros basados en almidón de maíz y almidón de yuca, mediante un procedimiento de gelatinización y posterior secado, utilizando como materiales almidón, glicerina, ácido acético y agua. Se obtuvieron resultados que se resumen en la tabla 2 y en las gráficas de barras resistencia y elongación. Se concluye con respecto a la resistencia y a la elongación de las películas biopolimerizadas, en donde se halló que el almidón de maíz con 60 ml de agua produce una mayor resistencia biopolimérica mientras que con la contra parte, es decir, con el almidón de yuca y con 100 ml de agua se producen muestras con mayor elongación.

Palabras claves: almidón; biopolímeros; degradables; maíz; yuca.

Introducción

Los bioplásticos se presentan como una alternativa científicamente elegante y ecológica para solucionar de manera parcial o para incentivar nuevas soluciones a problemas como el de la producción masiva de desechos orgánicos (Saharan; Ankita, 2012), la lenta degradación de plásticos convencionales basados en el petróleo (Bátori; Akesson; Zamani; Taherzadeh; Horvath, 2018; Rahman *et al.*, 2019) o el almacenamiento de energía biomásica (Bátori *et al.*, 2018; Bezirhan-Arikan, Duygu-Ozsoy, 2015; Bruce, 2007; Scott, Hao-Yu, 2016). Para la producción en masa de bioplásticos es de carácter fundamental la determinación de la combinación de materiales que garantice las propiedades físicas requeridas en el bioplástico para satisfacer los requerimientos de la aplicación final (Rahman *et al.*, 2019). En este trabajo, se presenta la elaboración y evaluación de biopolímeros a partir del almidón de maíz y de yuca, usando agua, glicerina, **ácido** acético llevándolo a la temperatura de gelatinización y posterior secado en el horno de convección a 313 K. La organización de la presente disertación es la discusión de los materiales y métodos para la elaboración del bioplástico, algunos resultados selectos, discusión y finalmente la conclusión.

Materiales y Métodos

La metodología es experimental con enfoque cualitativo y cuantitativo.

Paso 1: Elaboración de películas

Paso 2: Caracterización de las películas

Paso 3: Análisis de resultados

Se elaboraron dos películas con almidón de maíz y dos películas con almidón de yuca, utilizando la misma cantidad de almidón, glicerina y ácido acético. La cantidad de agua fue variada en las muestras de cada almidón, la temperatura fue la de gelatinización del almidón utilizado en cada caso y el secado en un horno de convección a 313 K durante 6 horas (ver Tabla 1)

Tabla 1.
Relación de materiales de las películas elaboradas.

Fuente de almidón	Muestra 1	Muestra 2
Maíz	Almidón 5 g Glicerina 1,2 mL Ácido acético al 3 %, 1,5 mL Agua 60 mL	Almidón 5 g Glicerina 1,2 mL Ácido acético al 3 %, 1,5 mL Agua 100 mL
Yuca	Almidón 5 g Glicerina 1,2 mL Ácido acético al 3 %, 1,5mL Agua 60 mL	Almidón 5 g Glicerina 1,2 mL Ácido acético al 3 %, 1,5 mL Agua 100mL

Fuente: elaboración propia.

Resultados y discusiones

De las cuatro muestras planteadas se logró sacar una película para cada experimento y medir sus propiedades. Se realizó la medición en cada una de las películas de calibre, resistencia, elongación, porcentaje de deformación. La caracterización de las películas se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.
Caracterización de películas (calibre, resistencia, elongación, porcentaje de deformación).

Muestra	Calibre en milésima de pulgada	Calibre en mm	Área en mm ²	Kgf	Resistencia en Kg/mm ²	Elongación en mm	% de Deformación	Sellado
Maíz (1)	4	0,102	2,581	6,384	2,474	3,600	4,700	Cuando se expone a las condiciones de sellado, se cristaliza y no sella.
Maíz (2)	2	0,051	1,290	1,562	1,211	8,290	5,600	Cuando se expone a las condiciones de sellado, se cristaliza y no sella.
Yuca (1)	4	0,102	2,581	2,047	0,793	19,470	30,040	Se sella a 290 °C (Mejor sellado)
Yuca (2)	6	0,152	3,871	2,285	0,590	25,120	9,252	Se sella a 290 °C

Fuente: elaboración propia.

En las figuras 1 y 2 se comparan la resistencia y elongación de las películas obtenidas. Un factor importante para potencializar el uso de la película obtenida es la resistencia, los resultados de las diferentes muestras se visualizan en la Figura 1.

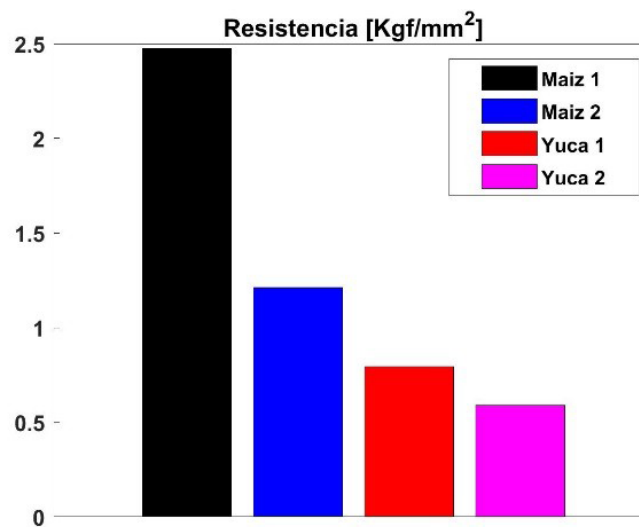


Figura 1. Comparación de la resistencia de las películas obtenidas.
Fuente: elaboración propia.

La elongación es una característica relevante en la identificación del uso del bioplástico como materia prima en la fabricación de diferentes tipos de bolsas. La figura 2 muestra los resultados obtenidos.

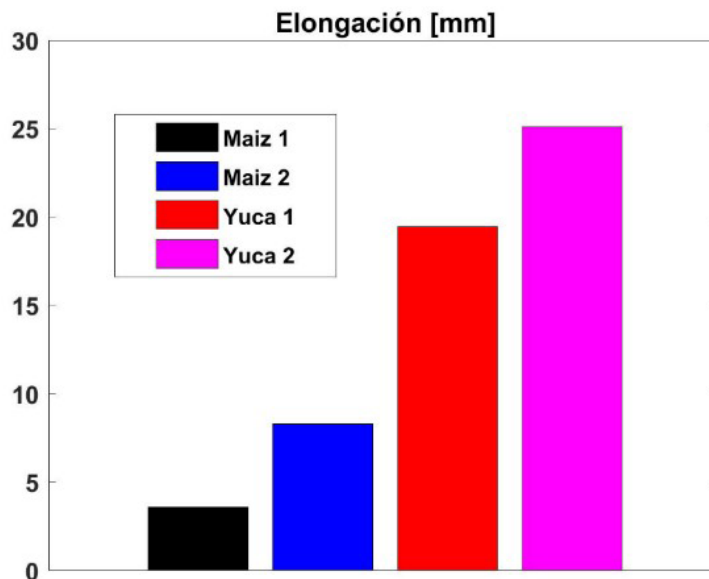


Figura 2. Comparación de la elongación de las películas obtenidas.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La elongación de las películas es mayor en las muestras elaboradas con 100 ml de agua. El almidón de yuca presenta mayor elongación que el de maíz.

Se logra mayor resistencia en las películas elaboradas con 60 ml de agua. Del almidón de maíz resultaron películas con mayor resistencia.

Referencias

- Bátori, Veronika; Akesson, Dan; Zamani, Akram; Taherzadeh, Mohammad; Horvath, Ilona (2018). Anaerobic Degradation of Bioplastics: A Review. *Waste Management*, 80, 406-413. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.040>
- Bezirhan-Arikan, Ezgi; Duygu-Ozsoy, Havva (2015). A Review: Investigation of Bioplastics. *Journal of Civil Engineering and Architecture* 9, 188-192. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.040>
- Bruce, Logan (2007). *Microbial Fuel Cell*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication. <https://doi.org/10.1002/9780470258590>
- Rahman, Rukhsana; Sood, Monika; Gupta, Neeraj; Bandral, Julie; Hameed, Fozia; Ashraf, Shafia (2019). Bioplastics for Food Packaging: A Review. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 8(3), 2311-2321. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.274>
- Saharan, B. S.; Ankita, S. D. (2012). Bioplastics- For Sustainable Development: A Review. *International Journal of Microbial Resource Technology*, 1(1), 11-23.
- Scott, Keith; Hao-Yu, Eileen (Eds.) (2016). *Microbial Electrochemical and Fuel Cells: Fundamentals and Applications*. Woodhead Publishing Series in Energy.



Aprovechamiento de la semilla de aguacate (*Persea americana* Mill.) tipo Hass para la extracción de almidón

Use of the avocado seed (*Persea americana* Mill.) Type Hass for starch extraction

Modalidad: Poster

Valerie Correa Albarán
Luis Eduardo Vallencilla Castro
Katerine Cárdenas Tobar¹
Marcelo Guancha¹

¹ Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, grupo de investigación GIDEMP, Tecnoacademia-Cali, Centro de Innovación - SENA - Cra 5 No. 11-68

Resumen

El proceso de extracción de almidón de semillas de aguacate variedad Hass se realizó utilizando el método vía húmeda. Inicialmente se realizó un tratamiento químico con hidróxido de sodio al 5% y metabisulfito de sodio al 0,2% combinado con Ultra-Turrax. Se realizó análisis cualitativo por prueba de yodo para verificar la presencia de almidón en la muestra obtenida. Finalmente se obtuvo almidón con un rendimiento del 4,5% en peso húmedo.

Palabras claves: almidón; aguacate Hass; extracción; carbohidratos; ultra-turrax.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass, es un tipo de fruta que se cultiva en Colombia. Se considera como uno de los cultivos con mayor potencial de crecimiento a nivel nacional ya que el aguacate es el sexto producto agrícola de exportación después del café, el banano, las flores, el aceite de palma y el azúcar (Revista Dinero, 2017). Según los mencionados autores, en el 2016 se produjeron 78.547 toneladas de aguacate Hass con un área sembrada de aproximadamente 14.084 hectáreas. Los departamentos con mayor producción son Antioquia (3.500 hectáreas), Caldas (2.597 hectáreas) y Tolima (1.325 hectáreas). Del consumo del aguacate queda como subproducto la semilla y la cáscara, que actualmente se eliminan como desechos. La importancia de la semilla está relacionado con el contenido de almidón, que está alrededor de del 60 al 70 % (Tsfaye *et al.*, 2018), convirtiéndola a la semilla en una fuente alternativa de almidón.

El almidón es un biopolímero compuesto por unidades de glucosa y se caracteriza por su amplia gama de aplicaciones en alimentos, papel, textil, plástico, farmacéutica, cosmética, pintura, bebidas, construcción e industrias cerámicas (Maryam; Kasim; Santosa, 2016). Debido a la demanda, las industrias utilizan materias primas como maíz, papa, yuca, arroz y trigo entre otros, para la extracción de almidón, dichas materias primas al mismo tiempo son fuentes de alimento (Tsfaye *et al.*, 2018). En consecuencia es necesario tener en cuenta los desafíos de la seguridad alimentaria que conlleva a investigar nuevas fuentes naturales de almidón para la industria, como los subproductos agroindustriales tales como la semilla del fruto de aguacate, dado su contenido de almidón y que es un residuo que corresponde aproximadamente a un 40 % con respecto al total de masa del fruto. Finalmente, el objetivo de este trabajo es el de determinar el rendimiento de extracción y la caracterización fisicoquímica de almidón extraído por vía húmeda.

Materiales y Métodos

Extracción del almidón

Las semillas se lavaron con agua potable y se cortaron en cubos de aproximadamente 1cm. A la muestra se le adicionó NaOH al 5 % en relación 1:20 y se dejó en agitación durante 24 h a 500 rpm. A continuación, las muestras se lavaron con agua destilada hasta que las aguas de lavado tuvieran pH neutro. Las muestras obtenidas se trataron con metabisulfito de sodio al 0,2 % relación 1:20 por 24 h (Madruga *et al.*, 2014). La mezcla obtenida se pasó por un procesador de alimentos para reducir el tamaño de partícula. La muestra final se agito en Ultra-Turrax por 30 min a 10000 rpm. Seguidamente, la muestra se filtró en un tamiz de 150 micras. El filtrado obtenido se dejó precipitar por gravedad se eliminó el sobrenadante.

Los lavados se realizaron hasta verificar la eliminación de la coloración marrón de las aguas de lavado. El precipitado final se secó a 50 °C hasta peso constante.

Prueba de pH y yodo

Se mezclaron 2,5 g de almidón extraído en 10 mL de agua destilada y se agito en un vortex durante 5 minutos. Posteriormente se dejó decantar y determino el pH de la fase de acuosa. Para las pruebas de yodo, se pesó 1 g de almidón, se llevó a ebullición con 15 mL de agua y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente. La muestra se dividió en dos partes iguales. A una de las muestras se le adiciono 3 gotas de lugol y se registró el cambio de color. La prueba se comparó con un almidón grado analítico (Tesfaye *et al.*, 2018).

Resultados y discusiones

Extracción del almidón

La Figura 1 se muestra la secuencia de pasos utilizados para la extracción de almidón de semillas de aguacate. A lo largo los pasos del tratamiento químico, el color marrón inicial del material (primer paso de tratamiento alcalino) cambió a marrón amarillento claro que se evidencia después de la molienda en el extractor de alimentos, hasta que finalmente se obtiene un material blanco. Los tratamientos químicos y mecánicos ayudan a aislar los gránulos de almidón. El tratamiento químico solubiliza los pigmentos, las proteínas y azúcares como pentosas y arabinosas según lo reportado por (Madruga *et al.*, 2014). Finalmente se obtuvo un rendimiento aproximado del 4,5 %.

Prueba de pH y yodo

Los resultados de prueba de yodo indican que el extracto de almidón de semilla de aguacate presentó color azul característico de la presencia de almidón. El pH obtenido fue de 6,68 que según estaba dentro del rango recomendado de entre 4,5 y 7,0 (Tesfaye *et al.*, 2018).



Figura 1. Esquema descripción del procedimiento utilizado para la extracción de almidón a partir de semillas de aguacate.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados parciales indican que se puede extraer almidón a partir de residuos de semillas de aguacate. El rendimiento de almidón fue del 4,5 % (en peso húmedo). Las pruebas fisicoquímicas cualitativas indican que el material extraído es almidón. Los ensayos siguientes de esta investigación corresponden a la optimización del proceso de extracción para mejorar

el rendimiento y la caracterización fisicoquímica como viscosidad, índice de solubilidad en agua, microscopia electrónica de barrido, análisis de grupos funcionales principalmente.

Agradecimientos

A los laboratorios de la Tecnoacademia – Cali y al Red Tecnoparque – Nodo Cali.

Referencias

- Madrugá, Marta; Medeiros-de Albuquerque Izis, Fabíola; Alves-Silva, Izis; Silva-do Amaral, Deborah; Magnania, Marciane; Queiroga-Neto, Vicente (2014). Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. *Food Chemistry*, 143, 440–445. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.003>
- Maryam, M.; Kasim, A.; Santosa (2016). Utilization Starch of Avocado Seed (*Persea Americana* Mill.) as a Raw Material for Dextrin. *Journal of Food and Science and Engineering*, 6, 32-37. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.01.005>
- Revista Dinero. (Marzo 30 de 2017). *Informe especial. Aguacate: el oro verde de la economía colombiana*. Recuperado de <https://www.dinero.com/edicion-impresa/informe-especial/articulo/aguacate-exportacion-y-mercado-en-colombia/243434>
- Tesfaye, Tamrat; Gibril, Mmagdi; Sithole, Bruce; Ramjugernath, Deresh; Chavan, Raosaheb; Chunilall, Viren; Gounden, Navandran (2018). Valorisation of avocado seeds: extraction and characterisation of starch for textile applications. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(9), 2135–2154. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1597-0>



Encapsulación y soporte de biomoléculas en nanopartículas poliméricas para aplicaciones biomédicas

Encapsulation and support of biomolecules in polymeric nanoparticles for biomedical applications

Modalidad: Comunicación oral

Jorge A. Gutiérrez¹

¹ Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia. jgutierrez@uniquindio.edu.co

Resumen

A través del tiempo, los seres humanos han padecido diferentes fenómenos que de una u otra forma han influenciado en su salud de forma positiva o negativa. Es así como las enfermedades o los eventos físicos traumáticos han sido un foco de atención para la humanidad como parte de la evolución. En la actualidad se aprecia con gran preocupación los eventos traumáticos y los tratamientos para el manejo de afecciones tisulares, ya que, en los procesos de recuperación, las zonas afectadas son vulnerables a la proliferación de microorganismos patógenos, los cuales con el tiempo vienen desarrollando resistencia ante los antibióticos comúnmente utilizados. En este sentido, es sumamente importante desarrollar nuevas estrategias para enfrentar esta necesidad en salud pública. Una de las alternativas se enmarca en nanociencia y nanobiotecnología, en el estudio y evaluación de nuevos nanocompuestos antibacterianos y antifúngicos para combatir enfermedades producidas por microorganismos multirresistentes a fármacos (MDR, por sus siglas en inglés), que favorezcan la regeneración tisular en las zonas afectadas, donde las nanopartículas biopoliméricas de Ácido poliláctico (PLA) y poliglicólico (PLGA) resaltan como una excelente opción, que a futuro puedan ser adquiridos fácilmente por el ciudadano común. Esto implica el desarrollo de estrategias innovadoras para el desarrollo de materiales, los cuales deben ser caracterizados con diferentes técnicas instrumentales, para finalmente evaluar su toxicidad y sus propiedades antibacteriales y antifúngicas sobre microorganismos como *Staphylococcus aureus* resistente a metilina (SARM), *Escherichia coli* O157:H7 y *Candida* spp resistente a antifúngicos.

Palabras clave: nanopartículas metálicas, nanopartículas poliméricas, microorganismos patógenos, nanoencapsulación.

Preparación de membranas poliméricas electrohiladas a partir del aprovechamiento de residuos agroindustriales

Preparation of electro-spun polymeric membranes from the use of agroindustrial waste

Modalidad: Comunicación oral

Edwin Yesid Gómez-Pachón¹

¹ Grupos de Investigación de la UPTC: Diseño, Innovación y Asistencia Técnica de Materiales Avanzados-DITMAV y Desarrollo y Aplicación de Nuevos Materiales-DANUM. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. edwin.gomez02@uptc.edu.co

Resumen

Se presenta una recopilación de resultados sobre la preparación, caracterización y evaluación de membranas poliméricas de nanofibras a partir de materiales e insumos de tipo natural como almidón de papa, celulosa de tallos de caña de azúcar de Boyacá, así como de polímeros como poliácido láctico, policaprolactona y otros. Estos tipos de membranas se han obtenido mediante síntesis y tecnologías desarrolladas por los grupos de investigación DITMAV y DANUM, ambos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC.

En el Departamento de Boyacá en Colombia existe una diversidad de plantas y productos agrícolas, los cuales son aprovechables como alimentos frescos para la sociedad humana. Sin embargo, los residuos orgánicos de plantas como tallos, raíces, hojas, cascaras de frutos no son aprovechados adecuadamente, porque se usan como alimento para animales, para compostaje y desafortunadamente la mayoría de estos residuos se queman en hornillas, y/o a cielo abierto lo cual generan monóxido de carbono y otros contaminantes. Razón por la cual los grupos de investigación DITMAV y DANUM han generado alternativas para aprovechar estos residuos para el desarrollo de nuevos productos que tendría un impacto económico muy importante para el sector agrícola.

Para el desarrollo de productos de alto impacto tecnológico con estos residuos agrícolas, se realizaron varias investigaciones para estudiar y desarrollar nanomateriales, por ello se aplicó la técnica de electrohilado con las cuales se prepararon materiales de alto valor agregado como filtros para agua, andamios para ingeniería de tejidos o simplemente membranas con propiedades especiales. Luego, se caracterizaron física, químicamente y se determinaron las propiedades mecánicas con el fin de evaluar la viabilidad de estos materiales.

El objetivo global de estas investigaciones fue establecer procedimientos para la extracción de almidones y celulosa, con el fin de generar soluciones con diferentes tipos de solventes, para finalmente realizar procesos de parametrización de electrohilado para obtener membranas. La caracterización por diferentes técnicas analíticas tales como Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Difracción de Rayos X (DRX), Microscopia Electrónica de Transmisión (TEM), Ensayos mecánicos, entre otras, han permitido conocer propiedades estructurales, mecánicas y hasta biológicas que hacen estos materiales muy aptos para aplicaciones específicas.



Estos estudios llevaron a concluir que las membranas preparadas con poliláctico, policaprolactona, quitosano entre otros tipos de polímeros tienen una alta potencialidad para ingeniería de tejidos porque se logran fibras de diámetros inferiores a 1 micra, alta resistencia mecánica, porosidad suficiente y algunos resultados mostraron adhesión y proliferación celular. Las membranas preparadas a partir de acetato de celulosa mostraron buenos resultados para aplicaciones en filtración del agua, donde presenta suficiente resistencia a caudales altos de agua, muestran atrapamiento de micro- partículas y otras pruebas normativas para sistemas de filtración.

Algunos de los alcances obtenidos con grupos interdisciplinarios de Diseño Industrial y Química han sido gracias al trabajo mancomunado de los grupos de investigación DITMAV perteneciente a la Escuela de Diseño Industrial en la ciudad de Duitama y DANUM adscrito a la Escuela de Química en la ciudad de Tunja de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, quienes hicieron posible la elaboración de equipos con los que actualmente se preparan membranas de micro y nanofibras a través de métodos de electrohilado, además de generar avances en la síntesis química de diferentes biopolímeros, apropiados para su posterior transformación por medio de dichos equipos.

Por otro lado, la obtención de nanofibras de celulosa por medio de electrohilado es un proceso que se dificulta, debido a la limitación de la celulosa para generar la solución con los solventes requeridos por la técnica, por ello se han usado técnicas como acetilar la celulosa logrando solubilizarla para electrohilar y luego en sólido de desacetilarla. A partir de los resultados que se obtuvieron en dicha investigación se cimentó la ejecución del proyecto.

Se agradece la colaboración de estudiantes de la Escuela de Química, de Diseño Industrial y de los posgrados de Ciencias Químicas de la UPTC que han participado en los proyectos que han financiado la Vicerrectoría de Investigaciones y Extensiones VIE de la UPTC. Se agradece al Centro de Gestión de Investigación y Extensión de la Facultad Duitama-CIFAD y al Instituto de Investigación e Innovación para el Desarrollo Tecnológico CIMADI.

Los resultados de estos trabajos de investigación se dedican a la memoria del Dr. Efrén de Jesús Muñoz Prieto.