Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Desarrollo de biopolímero a base de colágeno

Development of collagen-based Biopolymer

Romero-Mitre, R.D.[a], Galaviz-Rodríguez, J.V.[b], Pérez-Pérez, A.[b], Garduño-Olvera, I.E.[c], Pérez-Bustamante, R.[c]

[a] Posgrado de CIATEQ, A.C. sede Cd. Sahagún, Hgo/Universidad Tecnológica de Tlaxcala. Av. Diesel Nacional #1, Parque Industrial Ciudad Sahagún, C.P.43990/Carr. A El Carmen Xalpatlahuaya, S/N, C.P. 90500. Huamantla, Tlaxcala, México.
[b] Universidad Tecnológica de Tlaxcala., Carr. A El Carmen Xalpatlahuaya, S/N, C.P. 90500. Huamantla, Tlaxcala, México.
[c] CIATEQ Campus San Luis Potosí. Eje 126 225, Industrial San Luis, 78395. San Luis, S.L.P., México.
roman.romero@uttlaxcala.edu.mx, galaviz_4@uttlaxcala.edu.mx, aperez@uttlaxcala.edu.mx, isaias.garduno@ciateq.mx, raul.perez@ciateq.mx

Innovación tecnológica: Biopolímero biodegradable.

Aplicación empresarial: Industria del plástico.

Enviado: 26 abril 2019.
Aceptado: 28 julio 2019.

Abstract

The investigation theme of this paper is the development of a material of sustainable polymeric origin coming from poultry bones and cartilage from which obtains the collagen that is essential to make the step polymerization to apply it in plastic parts.

What we would like to do with this research is to provide an alternative of a biodegradable material obtaining applicable in the manufacture of different products of polymeric origin such as utensils, auto-parts and even disposable products.

The investigation made, based on polymerization fundamentals and the design of experiments methodology together achieved to get the best combination of the main components of the biopolymer. The major findings were the good mechanical and thermal strength of the biopolymer slightly superior to a commercial polymer like polypropylene. The contribution of this work is the obtaining of an environmental friendly material.

Keywords: biopolymers, sustainable manufacture, plastics.

Resumen

El tema de investigación de este artículo es el desarrollo de un material de origen polimérico sustentable proveniente de los huesos y cartílago de las aves de corral de las cuales se obtiene el colágeno que es esencial para realizar la polimerización por pasos para aplicarla en productos plásticos.

El problema que se quiere resolver con este trabajo es proporcionar una alternativa de obtención de un material biodegradable aplicable en la manufactura de diferentes productos de origen polimérico tales como utensilios, autopartes interiores e incluso productos desechables.

La investigación hecha basada en los fundamentos de la polimerización que, junto con la metodología del diseño de experimentos, permitieron obtener la mejor combinación de los componentes principales del biopolímero. Los mayores hallazgos fueron la buena resistencia mecánica y térmica del biopolímero ligeramente superior a un polímero comercial como el polipropileno. La contribución de este trabajo es la obtención de un material amigable con el medio ambiente.

Palabras clave: biopolímeros, manufactura sustentable, plásticos.

1. Introducción

Dos problemas se han incrementado de manera importante en la industria del plástico: globalización y sustentabilidad (Jones, 2014).

Hay muchos problemas de sustentabilidad los cuales han conducido al desarrollo de monómeros y polímeros biodegradables a partir de recursos de plantas renovables. Algunos de los problemas más conocidos por el público incluyen el costo de la materia prima tradicional que tiene como fuente al petróleo, el calentamiento global y el daño ambiental. Un problema menos comprendido es el alcance de la contaminación al final del ciclo de vida causada por objetos plásticos. De todos los plásticos, metales y papeles recolectados para reciclaje, solamente se estima que el 25 % realmente se reutiliza. El resto es desechado porque la contaminación lo hace inusable (Ebnesajjad, 2013).

La principal propiedad que distingue a los biopolímeros de los polímeros derivados del petróleo es su sustentabilidad, especialmente cuando se combina con la biodegradabilidad. Los polímeros biodegradables de fuentes renovables han sido sintetizados para proveer alternativas en sustitución de los polímeros tradicionales. A menudo estos son sintetizados del almidón, azúcar, fibras naturales u otros componentes biodegradables orgánicos en composiciones diversas. Los biopolímeros son degradados por la exposición a las bacterias en el suelo, composta o sedimento marino. Cuando los polímeros biodegradables son sujetos a los depósitos de basura al utilizar su característica de ser degradables por las bacterias en el suelo, se reducen significativamente las emisiones de CO_2 comparadas con la incineración convencional (Niaounakis, 2013).

El colágeno es una proteína fibrosa ubicua, es la mayor proteína componente de todas las especies vertebradas y ha sido estimado que representa alrededor del 25 % de las proteínas del cuerpo en mamíferos. Esto ocurre en una variedad de formas macroscópicas en tejidos tan diversos como la piel, los tendones, los

vasos sanguíneos, los cartílagos, huesos, córnea, humor vítreo y membrana basal y está presente en el entramado y los intersticios de todos los otros tejidos y órganos con excepción de la sangre, linfa y tejido queratinoso. En la mayoría de los casos, el papel principal del colágeno es proporcionar al tejido su integridad, la principal característica que permite al colágeno desempeñar este rol de apoyo es su alta resistencia a la tensión de sus fibrillas. Esta propiedad es debida a su conformación molecular única, la cual es conferida sobre ella por las unidades de repetición regular en la secuencia del aminoácido, el alineamiento altamente específico y empaque de las moléculas en las fibrillas y la cohesión axial y lateral proporcionado por la formación de enlaces covalentes intermoleculares (Nimmi, 2018).

El colágeno tipo I es la proteína más abundante en los mamíferos. Confiere estabilidad mecánica, resistencia y tenacidad para un rango de tejidos desde tendones y ligamentos hasta la piel, cornea, hueso y dentina. Estos tejidos tienen requerimientos mecánicos bastante diferentes, algunos necesitan ser elásticos o almacenar energía mecánica y otros necesitan ser rígidos y tenaces. Esto muestra la versatilidad del colágeno como un material de construcción. Mientras en otros casos (hueso y dentina) la rigidez es incrementada por la inclusión de mineral, las propiedades mecánicas, son en general adaptadas por una modificación de la estructura jerárquica más que por una diferente composición química (Fratzl, 2008). El colágeno es la proteína animal más abundante, la cual provee resistencia mecánica a los tejidos y estimula la adhesión de células (Genchi, 2019). En la figura 1 se muestra la estructura primaria del colágeno tipo I.

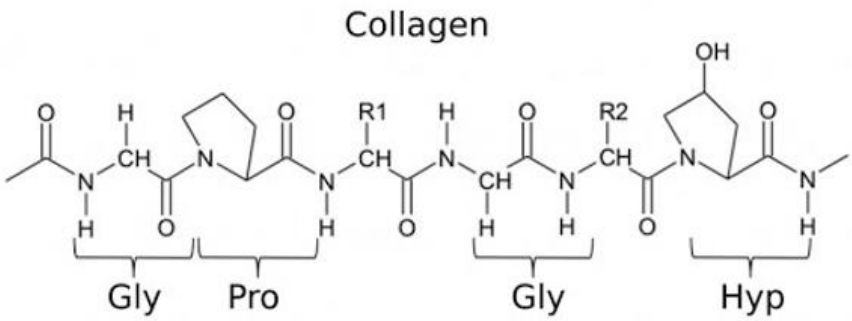


Figura 1. Estructura primaria del colágeno tipo I. Fuente: Genchi, 2019.

Por otra parte, la grenetina es derivada del colágeno por hidrolisis. Además, al ser un derivado del colágeno, es soluble en agua y muchos solventes polares, también exhibe propiedades tales como biodegradabilidad, antigenicidad y lo más importante es su bajo costo, en la figura 2 se muestra una estructura típica de grenetina (Ebnesajjad, 2013). La grenetina es un polvo translúcido, sin color y frágil y casi es insaboro. La mayor fuente de grenetina es la piel animal, los huesos y escamas de pescado.

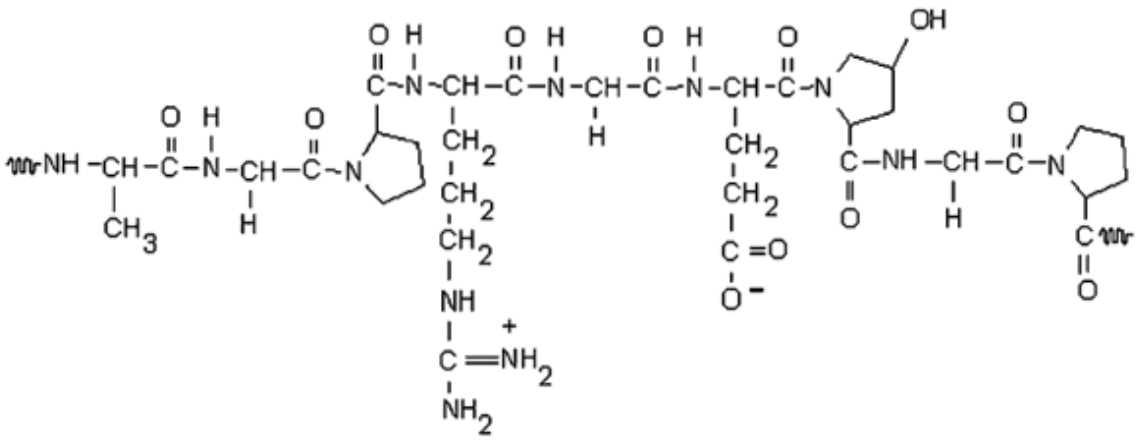


Figura 2. Una unidad estructural típica de grenetina. Fuente: Ebnesajjad, 2013.

Un biopolímero a base de la gelatina obtenida a partir de patas de pollo y plastificante usando un diseño factorial 2^2 fue hecho por (Núñez, 2014). En donde se observa una relación constante en los tres casos de la obtención exitosa de la gelatina de 1.03 g/mL, correspondiente a la masa de las patas de pollo entre la solución de agua, en un medio básico a base de NaOH y un medio ácido de HCl. Una vez conseguida la combinación que dio como resultado la obtención de gelatina se mezcló con dos plastificantes en diferentes experimentos, de los cuales el que mejor resultado brindó fue el de la combinación de alcohol polivinílico al 5 % y glicerina, con una buena elasticidad y buena resistencia del biopolímero. Dentro de sus resultados se indica que con un porcentaje de gelatina de 28.45 % y de alcohol polivinílico de 3.96 % se obtiene una resistencia a la rotura de 39.29 kg/cm^2, este valor convertido a Pascales es 3 854 349.

La polimerización por condensación tiene lugar bajo condiciones adecuadas permitiendo a moléculas bi-funcionales o multifuncionales condensar intermolecularmente de manera que el crecimiento de la molécula o extensión de cadena tiene lugar en pasos distinguibles controlados y el proceso está normalmente asociado con la formación de enlaces químicos inter-unitarios condensados y la liberación de pequeños subproductos tales como H_20, HCl, etc., en cada etapa de la reacción (Ghosh, 2008).

El proceso de condensación más allá del primer paso no necesariamente involucra reacción con uno de los monómeros. Los productos de condensación de todos los pasos sucesivos retienen el carácter bi-funcional y cada especie bi-funcional formada y permaneciendo en el sistema en cualquier punto del tiempo o grado o reacción es capaz de reaccionar con cualquier otra especie bi-funcional incluyendo otro de su mismo tamaño o una molécula monómera no reaccionada y la eliminación de una molécula de H_20 como subproducto, en cada etapa permanece como una característica común. Un paso más de la condensación resulta en la pérdida de una o más especies bi-funcionales y como una consecuencia dos grupos funcionales, uno de cada tipo es perdido en cada etapa. La formación de una molécula de cadena larga de grado de polimerización n, donde n tiene un valor grande puede ser expresado en la ecuación 1, combinando (2n – 1) etapas sucesivas de condensación.

$$n\ HOROH + n\ HOOCR'COOH \rightarrow HO\ –[-ROOCR'COO-]_n – H + (2n – 1)\ H_2O \quad \textbf{(Ec. 1)}$$

El proceso de crecimiento de cadena en cualquier punto del tiempo puede ser representado por la ecuación 2.

$$\Sigma M_n + \Sigma M_m \rightarrow \Sigma M_{n+m} + H_2O \quad \textbf{(Ec. 2)}$$

Donde n y m pueden tener cualquier valor entero entre 1 y α. Para el monómero, el valor de n o m es 1.

2. Desarrollo del biopolímero

Los materiales requeridos para realizar los experimentos son: patas de pollo limpias, agua, ácido cítrico, grenetina, retardante a la flama y bórax. El equipo que se usa es una estufa para el calentamiento del agua y mezcla de los ingredientes. Se requiere también de utensilios como una olla de aluminio y una cuchara metálica para revolver los materiales de manera homogénea y de una charola de polipropileno que sirve de molde en donde se realiza la polimerización. La relación de masa de patas de pollo/volumen de agua es de 1/2 (g/mL).

El método de obtención del biopolímero se realiza hirviendo el agua en la olla de aluminio y agregando los ingredientes de manera cuidadosa, empezando con las patas de pollo durante 10 minutos y posteriormente se agregan uno a uno el resto de los ingredientes en el siguiente orden, grenetina, ácido cítrico, retardante a la flama y bórax, los cuales se mezclan con la cuchara metálica durante 5 minutos, para finalmente vaciar en la charola de polipropileno y dejar a temperatura ambiente durante 24 horas en una habitación cerrada, para que se realice la polimerización por condensación.

Para desarrollar en primera instancia el material biopolímero se hace uso de la técnica de diseño factorial de dos factores los cuáles son el colágeno y la grenetina con tres niveles para el colágeno que son (volumen 250, 500 y 750 mL) y tres niveles para la grenetina que son (masa 3, 6, 9 g) con cuatro réplicas por cada combinación. Con la finalidad de saber cuál de las combinaciones presenta la más alta resistencia a la tensión.

En el diseño factorial de dos factores, los factores (o tratamientos) de los renglones (colágeno) y columnas (grenetina) son de igual interés. Específicamente, el interés se encuentra en probar hipótesis acerca de la igualdad de los efectos de los tratamientos de los renglones y de las columnas, también existe interés en determinar si los tratamientos de los renglones y las columnas interactúan (Montgomery, 2004).

Las hipótesis de la igualdad de los efectos de los tratamientos de los renglones son:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = ... = \tau_a = 0 \quad \textbf{(Ec. 3)}$$

$$H_1: \text{al menos una } \tau_i \neq 0$$

Y las hipótesis de la igualdad de los efectos de los tratamientos de las columnas son:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_b = 0 \quad \textbf{(Ec. 4)}$$

$$H_1: \text{al menos una } \beta_i \neq 0$$

Para la determinar si los tratamientos de las columnas y los renglones interactúan, se establecen las hipótesis:

$$H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0 \quad \textbf{(Ec. 5)}$$

$$H_1: \text{al menos una } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

En estos experimentos se mantienen como constantes los parámetros de las variables que se observan en la tabla 1, las cuales integran la base de este experimento.

Tabla 1. Parámetros constantes del experimento.

Parámetro –Variable	Motivo para permanecer constante
5 ml de ácido cítrico.	Sólo sirve como catalizador.
Temperatura ambiente de secado.	La adición de temperatura afecta la polimerización al grado de que el material se vuelve quebradizo al incrementarse esta.
24 horas de tiempo de polimerización.	Es el tiempo en el cual se observa la formación del bioplástico con la condición de temperatura ambiente.
10 % de retardante a la flama.	Por recomendación del fabricante del retardante a la flama en polímeros convencionales.
2 g de colorante vegetal.	Sólo sirve para darle color al producto.
1 g de bórax.	Se agrega para darle plasticidad al biopolímero

El ácido cítrico es un ácido orgánico débil cuya fórmula es ($C_6H_8O_7$) (Spencer, 2017), tiene la función de iniciar la reacción de la preparación del colágeno tipo I el cual está formado por unidades de tropocolágeno, el cual se localiza en piel, tendón, hueso, etc., con la grenetina, la cual es una proteína compleja, es decir un polímero compuesto por aminoácidos. Esta proteína carece de los principales aminoácidos esenciales para la nutrición humana como valina, tirosina y triptófano, y por, lo tanto no tiene valor como alimento. Como sucede con los polisacáridos, el grado de polimerización, la naturaleza de los monómeros y la secuencia en la cadena proteica determinan sus propiedades generales. Una notable propiedad de esta molécula es su comportamiento frente a temperaturas diferentes: se derrite con el agua caliente y se solidifica nuevamente y se hincha con el agua fría.

Se corre un diseño factorial de dos factores, para esto se genera la tabla 2 en donde se muestra el número de corrida experimental, que consta de 36 en total.

La lámina obtenida tiene un espesor de 0.2 mm, la cual se peletiza para poder inyectarla en forma de probeta.

Por otra parte, se generan números aleatorios, para establecer la secuencia de las corridas, esto se hace para evitar que los efectos de variables desconocidas afecten los resultados, estos números se generan en Excel usando la función aleatorio entre y entre paréntesis el rango de números, que en este caso son 36, los cuales se muestran en la tabla 3.

En el orden de los números aleatorios se realizan los experimentos, es decir el primer experimento corresponde a la corrida 20 en donde se mezclan 250 mL de colágeno con 6 g de grenetina, el segundo corresponde a la corrida 27 en donde se mezclan 500 mL de colágeno con 9 g de grenetina y así sucesivamente.

Tabla 2. Número de corridas del experimento.

	Preparación de colágeno (mL)					
Grenetina (g)	250		500		750	
3	1	2	3	4	5	6
	7	8	9	10	11	12
6	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24
9	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36

Tabla 3. Generación de números aleatorios para ejecutar el experimento.

C	NA	C	NA	C	NA	C	NA
1	**11**	10	**32**	19	**7**	28	**4**
2	**34**	11	**21**	20	**1**	29	**14**
3	**23**	12	**33**	21	**9**	30	**27**
4	**15**	13	**19**	22	**30**	31	**24**
5	**31**	14	**6**	23	**20**	32	**29**
6	**16**	15	**26**	24	**10**	33	**35**

7	**25**	16	**13**	25	**5**	34	**8**
8	**3**	17	**22**	26	**12**	35	**28**
9	**18**	18	**36**	27	**2**	36	**17**

Nota: En donde C = Corrida y N A = Número aleatorio.

Una vez obtenidas las probetas, se realiza la aplicación de fuerzas de tracción, en una máquina universal, para lo cual previamente se peletiza la mezcla en las mismas proporciones varias veces para obtener la cantidad necesaria de materia prima para inyectar en un molde hecho especialmente para probetas de acuerdo la norma D638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics de la ASTM, para determinar su resistencia a la tensión, que es el esfuerzo al cual va a estar sujeta la pieza ya en funcionamiento.

En la figura 3 se muestra el molde donde se inyecta el material peletizado el cual se tiene en la institución donde se desarrolló este trabajo, el cual consta de dos cavidades, la otra cavidad es para la inyección de otro tipo de probeta, en la figura 4 se observa la probeta inyectada, la cual tiene las dimensiones indicadas en la norma D638 arriba indicada, en la figura 5 se observan las variables que la integran y en la tabla 4 se indican sus parámetros respectivos los cuales corresponden al tipo I, el cual es el adecuado para los polímeros rígidos y semirrígidos, en la figura 6 se observa la probeta puesta en la máquina universal y en la figura 7 se ve la probeta una vez finalizada la prueba.

Los resultados de la prueba de tensión realizada a las probetas se muestran en la Tabla 5 del punto 3 de resultados.



Figura 3. Molde de inyección para probetas de acuerdo a la norma D638-14.



Figura 4. Probeta hecha con el biopolímero a base de colágeno.

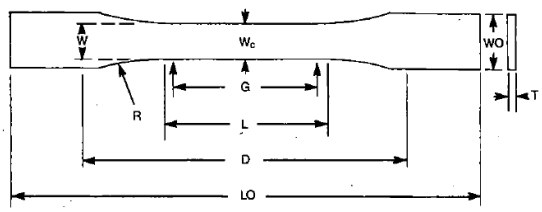


Figura 5. Variables que integran la probeta. Fuente: Norma D638 ASTM.

Tabla 4. Variables y parámetros que integran la probeta.

Variable	**Parámetro (mm)**
W- Ancho de la sección estrecha	13
L – Longitud de la sección estrecha	57
WO – Ancho total	19
LO – Longitud total	165
G – Longitud calibrada	50
D – Distancia entre mordazas	115
R – Radio de filete	76
T – Espesor	3.2

Fuente: Norma D638 ASTM.



Figura 6. Probeta puesta en máquina universal.



Figura 7. Probeta rota en máquina universal.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de tensión, se procede a realizar el análisis estadístico del modelo con efectos fijos. Para lo cual se genera la tabla 5 en donde se observan datos de la fuente de variación (colágeno y grenetina), a partir de los resultados de la tabla 7 los cuales son la suma de cuadrados, los grados de libertad, el cuadrado medio, Fo y P.

Tabla 5. Análisis de los datos de la resistencia a la tensión del biopolímero.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo
Colágeno	19.973	2	9.986	20.505
Grenetina	2.487	2	1.243	2.973
Interacción	197.979	4	49.494	118.4
Error	11.302	27	0.418	
Total	231.743	35		

Estos datos se obtienen a partir de las fórmulas publicadas por (Montgomery, 2004). Suma de cuadrados total (6), sumas de cuadrados de los efectos principales (7) y (8), suma de los cuadrados de subtotales (9), suma de los cuadrados de la interacción (10) y la suma de los cuadrados del error (11)

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{n} y^2_{ijk} - \frac{y2...}{abn} \quad \textbf{(Ec. 6)}$$

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^{a} y^2_{i...} - \frac{y2...}{abn} \quad \textbf{(Ec. 7)}$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^{b} y^2_{j...} - \frac{y2...}{abn} \quad \textbf{(Ec. 8)}$$

$$SS_{Subtotales} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} y^2_{ij} - \frac{y2...}{abn} \quad \textbf{(Ec. 9)}$$

$$SS_{AB} = SS_{Subtotales} - SS_A - SS_B \quad \textbf{(Ec. 10)}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotales} \quad \textbf{(Ec. 11)}$$

Estos datos se analizan de la siguiente manera: Se verifica en tablas (Runger, 2002) los puntos porcentuales de la distribución F, seleccionando un valor de $\alpha = 0.10$, por lo que el valor crítico para los efectos del colágeno y la grenetina es de $f_{0,\ 2,27} = 2.51$ y para la interacción de estos factores es de $f_{0,\ 4,27} = 2.17$. Por lo que, comparando estos valores con los observados para estas fuentes de variación, se presenta la tabla 6.

Tabla 6. Comparativo de valores de cocientes F con puntos porcentuales de distribución F.

Fuente de variación	Fo	$f_{0,\,2,27}$ o $f_{0,\,4,27}$	Comparativo
Colágeno	20.505	2.51	Fo > $f_{0,\,2,27}$
Grenetina	2.973	2.51	Fo > $f_{0,\,2,27}$
Interacción	118.4	2.17	Fo > $f_{0,\,4,27}$

Cómo se observa en todos los casos Fo es mayor que f_0, por lo que se concluye de acuerdo con (Montgomery, 2004), que hay una interacción significativa del colágeno, la grenetina y la interacción de ambos en la resistencia del material.

Con la mejor relación colágeno-grenetina obtenida en el diseño de experimentos, se procedió a realizar la prueba de flamabilidad FMVSS 302 ya que dentro de los componentes del biopolímero se incluye un retardante a la flama.

Esta prueba consiste en:

a. La colocación de la probeta, de manera que ambos lados y un extremo están sostenidos por el marco en forma de U y un extremo es parejo con el extremo abierto del marco. Donde el ancho máximo disponible de la probeta no es mayor de 51 mm y de tal manera que los lados de la probeta no pueden ser sostenidos en el marco en forma de U, coloque la probeta en posición con los apoyos de cable, con un extremo sostenido por el extremo cerrado del marco U.

b. Colocación de la probeta montada en posición horizontal, en el centro del gabinete.

c. Con la flama ajustada, la posición del mechero bunsen y la probeta de tal manera que el centro de la punta del mechero está 19 mm abajo del centro del filo bajo del extremo abierto de la probeta.

d. Se expone la probeta a la flama por 15 segundos.

e. Se empieza a cronometrar (sin referencia al periodo de aplicación de la flama del mechero) cuando la flama de la probeta ardiendo alcance un punto de 38 mm desde el extremo abierto de la probeta.

f. Se toma el tiempo en que le toma a la flama progresar al punto de 38 mm desde el extremo sujetado de la probeta. Si la flama no alcanza el punto extremo especificado, su progreso de tiempo al punto donde se detiene el flameo.

g. Se calcula el índice de quemadura con la fórmula: B = 60 x (D/T).

Donde:

B = Índice de quemadura en milímetros por minuto

D = Longitud de viaje de la flama en milímetros, y

T = Tiempo en segundos para la flama para viajar D milímetros (Green and Safety World, 2017)

Los resultados de la prueba se muestran en la tabla 8 de los resultados.

Otra prueba que se realizó al material, fue la correspondiente a la norma PV496 correspondiente a la resistencia al calor de piezas plásticas al interior de un automóvil, la cual fue aprobada por la probeta que fue sometida a 48 h a +90 °C.

3. Resultados

En la tabla 7 se muestran los resultados de la prueba de tensión, en donde las unidades son MPa.

Tabla 7. Resultados de pruebas de tensión.

	Colágeno (mL)					
Grenetina (g)	250		500		750	
3	36.1	35.8	34	33.8	32.5	33.3
	37.5	36.7	34.8	35.2	32.7	32.8
6	33.1	32.1	38.2	39	32.9	33.6
	34.2	33.5	39.3	39.6	34.2	33.2
9	32.2	31.5	33.6	32.9	38.2	39.3
	32.1	32.6	34.9	33.7	39.2	39.4

Como conclusión del análisis de varianza realizado en la metodología, se determina que la relación de los factores grenetina y colágeno alcanza su mejor combinación para lograr una mayor resistencia del polímero, cuando es de 83.3 mL/g aproximadamente, ya que esto se nota en las figuras 9 y 10, lo cual corresponde a las resistencias 1, 5 y 9 que son los mayores valores de resistencia con respecto a las otras combinaciones.

El dato de la relación se obtiene de la división de:

250 mL/3 g = 500 mL/6 g = 750mL/9 g = 83.3 mL/g

La máxima resistencia alcanzada en las pruebas es de 39.6 MPa, correspondiente a la cuarta réplica del quinto experimento. Este valor es bastante bueno ya que se observa una resistencia semejante a la de un PEAD, el cual, de acuerdo con (Spalding, 2017), tiene una resistencia dentro del rango de 20 a 30 MPa.

Tabla 8. Resultado de prueba a la flamabilidad.

No	Pieza	Distancia quemada (mm)	Tiempo (min)	Valor de referencia (mm/min)/Probeta ardiendo menos de un minuto en una distancia menor a 2 pulgadas.	Pasa /No Pasa
1	Probeta de biopolímero	30.48	0.25	101.6	Pasa

Otro resultado fue el cumplimiento de la norma FMVSS 302 que se verifica por medio del ensayo hecho a la probeta del bioplástico y cuyos datos se muestran en la tabla 8, donde se observa que el material no alcanzó a arder ni un minuto, ni tampoco ardió más de 2 pulgadas, por lo que el material cumple con esta norma. Esta prueba se realiza en laboratorio con el equipo correspondiente calibrado. La norma establece que el máximo valor permisible de la velocidad de quemadura de la probeta es de 101.6 mm/min.

En el caso de la resistencia al calor mediante la norma PV496 la probeta no sufrió ningún resquebrajamiento ni deformación, como puede observarse en la figura 8. Cabe destacar que el comportamiento del material en presencia de calor es comparable al de un material compuesto tradicional como el PP con ABS, lo cual fue destacado por el laboratorio que realizó la prueba. Los parámetros de estos últimos materiales son de acuerdo con (McKeen, 2008) de 60 a 80 °C como temperatura de servicio continuo.

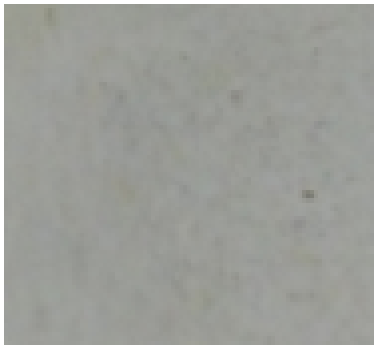


Figura 8. Probeta de biopolímero después de la prueba de resistencia al calor.

Otro resultado es el tiempo de biodegradabilidad del biopolímero en condiciones de humedad bajo tierra el cual es de un mes para su completa reintegración al ambiente.

4. Conclusiones

La combinación de los fundamentos de la polimerización por condensación, con el diseño de experimentos conllevaron a la obtención de un biopolímero a base de colágeno que cumple con normas automotrices de flamabilidad y resistencia mecánica y térmica, el cual tiene la ventaja de tener un carácter sustentable por provenir de una fuente renovable como lo son las aves de corral y al mismo tiempo cuenta con el beneficio de ser biodegradable bajo condiciones ambientales de humedad. Este material representa una gran oportunidad para servir de base a diferentes productos tanto de carácter laminar como las bolsas de supermercado, los rollos para emplayar y en general las envolturas de productos.

En comparación con el material obtenido por (Núñez, 2014), quien reporta una resistencia a la tensión de 39.29 kg/cm^2 o lo que es lo mismo 3.85 MPa, este biopolímero a base de colágeno es aproximadamente 10 veces más resistente (39.6 MPa), lo cual representa una ventaja muy grande para poderlo aplicar a diferentes productos, con su respectiva Peletización. La diferencia fundamental entre estos dos materiales es que en el desarrollado en este trabajo se realiza bajo la combinación de dos ingredientes principales que son colágeno y grenetina, a diferencia del primero que únicamente considera la formulación del producto con la gelatina obtenida directamente de las patas de pollo.

Se recomienda seguir trabajando en el desarrollo de polímeros de origen natural, ya que, al tener un carácter renovable, es posible lograr la sustentabilidad de los productos a los que pueden dar origen.

La búsqueda de este tipo de materiales debe basarse en el aprovechamiento de recursos que actualmente no son utilizados de manera importante, tales como:
Desechos de origen animal, tales como:

- Huesos.
- Cartílagos.
- Vísceras.
- Cáscaras (de huevo).

Desechos de origen vegetal, tales como:

- Cáscaras.
- Fibras.

Materiales de origen vegetal sin aplicación significativa tales como:

- Zacate.
- Hojas.
- Tallos.

Plantas sin uso comestibles que no requieren de cuidados especiales tales como:

- Lechuguilla.
- Ortiga.
- Lirio acuático.
- Polocote.

Por mencionar algunas de la vasta variedad de recursos naturales de los que es necesario investigar sus propiedades y definir aplicaciones.

Los biopolímeros tienen un lugar importante en el futuro de los productos que actualmente

se manufacturan con los polímeros provenientes del petróleo.

En particular el biopolímero desarrollado tiene el potencial para usarse en la fabricación de autopartes interiores, debido a su resistencia mecánica y térmica que le permite cumplir con normas automotrices.

También es posible usarlo en la fabricación de utensilios domésticos sin la adición del retardante a la flama.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen las facilidades y el apoyo otorgado por CIATEQ, para la realización de este trabajo, sin cuyo respaldo no hubiera sido posible.

6. Referencias

Jones, R.F. (2014). Strategic Management for the Plastics Industry Dealing with Globalization and Sustainability, CRC Press.

Ebnesajjad, S. (2013). Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics, Elsevier.

Niaounakis, M. (2013). Biopolymers: Reuse, Recycling and Disposal, Elsevier.

Nimmi, M. (2018). Collagen: Volume II: Biochemistry and Biomechanics, CRC Press.

Fratzl, P. (2008). Collagen Structure and Mechanics, Springer.

Genchi, G. (2019). Smart Tools for Caring: Nanotechnology Meets Medical Challenges, Frontiers in Bioengineering and Biotechnology

Ebnesajjad, S. (2013). Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics Properties, Processing and Applications, Elsevier

Núñez, A.C. 2014. Obtención de una película de bioplástico a partir del colágeno de las patas de pollo, Universidad Central del Ecuador.

Ghosh, P. (2008). Polymer Science and Technology, Plastics, Rubber, Blends and Composites, Tata Mc Graw Hill Publishing Company Limited.

Montgomery, D.C. Diseño y Análisis de Experimentos, Editorial Limusa S.A. de C.V.

Spencer, J.N. (2017). Just the Facts 101 Textbook Key Facts, Chemistry: Structure and Dynamics, Content Technologies Inc.

Runger, G.C. (2002). Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería, Editorial Limusa-Wiley.

Spalding, M.A. (2017). Handbook of Industrial Polyethylene and Technology Definitive Guide to Manufacturing, Properties, Processing, Applications and Markets, Scrivener Publishing LLC.

McKeen L.W. (2008). The Effect of Temperature and Other Factors on Plastics and Elastomers Second Edition, William Andrew Inc.