



**IV Simposio
DE MATERIALES
POLIMÉRICOS**

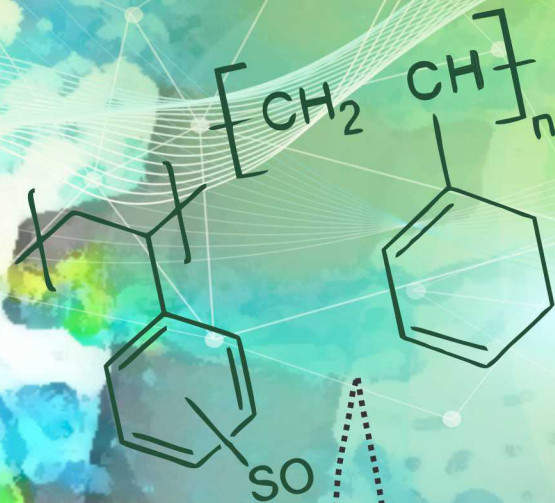


Res. No. 16740, 2017-2021.



Vigilada MinEduación.

Polímeros Compuestos y Nanocompuestos



Revista Informador Técnico, Volumen 82 n2 - Suplemento I- 2018

IV Simposio de Materiales Poliméricos - 13 y 14 de Septiembre de 2018, Cali - Colombia

CONTENIDO

Generación de un material compuesto a base de resina poliéster reforzada con residuos del maíz como alternativa sustentable en la fabricación de embarcaciones para el lago de Tota.....	9
Nancy Geraldine Rivera Torres, Edwin Yesid Gómez Pachón, Jorge Arturo Torres Pemberti	
Generación de un material tri-compuesto de concreto con fibras de phormium tenax y resina poliéster, como alternativa sustentable para la fabricación de sistemas flotantes acuáticos aplicados a alojamientos vacacionales dentro del lago de Tota, Boyacá	14
Angélica María Ruíz Pinto, Pilar Astrid Ramos Casas, Jorge Arturo Tórres Pemberti	
Materiales compuestos residuales con aplicaciones en la industria de la construcción.....	18
Daniel Ávila, Brandon Suárez, Stiven Astudillo, Carolina Caicedo, Yenny Ávila	
Obtención de nanocompuestos de matriz polimérica para aplicaciones electroquímicas.....	22
Diana Meliza Suárez-Santafé, Lisel Johanna Olarte-Guerrero, Helia Bibiana León-Molina	
Desarrollo de ladrillos a base de polietileno y polipropileno reciclado: Efecto del tiempo y temperatura de preparación.....	25
Ivana Orjuela, Miguel Paredes, Edwing Velasco	
Evaluación nano-estructural de cristales de azúcar como mecanismo de cualificación de calidad.....	28
Juan Camilo Zambrano Sánchez, Anthony Alexis Luna, Carlos Andrés Rosero, Danilo André Revelo Vargas	
Mejoramiento de las propiedades mecánicas de un bioplástico a base de almidón mediante la adición de TiO ₂	34
Lina Herrera, Leidy Carreño, Edwing Velasco	
Elaboración de bloques de concreto con agregados plásticos reciclados.....	38
María Bernarda Alvarado Bawab, Shirley Vega, Jorge Marín	
Desarrollo de una dispersión polimérica acrílica estirenada elatomérica.....	41
Alejandro Lozano Bohorquez, Camilo Augusto Ramírez López, Cristian Camilo Villa, Gustavo Correa	

Generación de un material compuesto a base de resina poliéster reforzada con residuos del maíz como alternativa sustentable en la fabricación de embarcaciones para el lago de Tota.

Generation of a composite material based on polyester resin reinforced with corn residues as a sustainable alternative in the manufacture of boats for Lake Tota.

Modalidad: Póster

Nancy Geraldine Rivera Torres¹
Edwin Yesid Gómez Pachón²
Jorge Arturo Torres Pemberti³

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación de Diseño, Innovación y Asistencia Técnica de Materiales – DITMAV, Duitama, Colombia. nancy.rivera01@uptc.edu.co

² Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación de Diseño, Innovación y Asistencia Técnica de Materiales – DITMAV, Duitama, Colombia. edwin.gomez02@uptc.edu.co

³ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación de Diseño, Innovación y Asistencia Técnica de Materiales – DITMAV, Duitama, Colombia. jorge.torres@uptc.edu.co

Resumen

En el departamento de Boyacá la agricultura es muy importante para la economía de la región; en el municipio de Tota y sus alrededores esta actividad es la mayor fuente de ingresos y el maíz representa una cantidad considerable de su siembra. En los últimos años se han realizado investigaciones de residuos generados en la producción del maíz, las cuales han arrojado resultados positivos en las nuevas aplicaciones que presentan para materiales de construcción, por lo que se considera pertinente generar un material compuesto en base a una resina poliéster junto con dichos residuos como una alternativa sustituta a la fibra de vidrio que actualmente presentan las embarcaciones prestadoras de servicios turísticos de la región del lago de Tota.

Palabras claves: *Compuesto, embarcaciones, maíz, residuos, tota.*

Introducción

En Colombia el maíz concentra el 13 % del área agrícola y es de gran importancia socioeconómica y de seguridad alimentaria por ser el primer cultivo de ciclo corto con presencia en 250 municipios que dependen en un 60 % de esta actividad (Ministerio de Agricultura, 2017). En el departamento de Boyacá el 85,3 % del área en la cobertura y uso del suelo está dirigido para el sector agrícola, en donde el maíz representa el 1,07 % de los cultivos transitorios (Gobernación de Boyacá, 2017), los cuales constituyen una parte importante para la economía en los sectores aledaños al lago de Tota como lo son Aquitania y Cuítiva. En la actualidad los residuos generados por la



producción de maíz son utilizados para el abono de los posteriores cultivos, para generar energías alternativas o en el peor de los casos son desechados. Sin embargo, una investigadora de la Universidad de Córdoba, junto a otros científicos estadounidenses y franceses, han conseguido producir nanocristales de celulosa a partir de estos desechos. Los nanocristales se descubrieron hace unos años y para algunos científicos éstos podrían ser el nuevo material de construcción del futuro gracias a su peso ligero y su flexibilidad, por lo que podrían utilizarse como refuerzo y endurecimiento en materiales de construcción, mecánica y biomedicina (Unidad de Cultura Científica y de la Innovación (UCCi), 2018).

El lago de Tota es uno de los lugares turísticos más importantes del departamento de Boyacá y de Colombia; Al ser el lago más grande del país, esta belleza natural fue premiada como uno de los destinos verdes más atractivos de las Américas por la feria internacional del turismo en Alemania y también fue incluido dentro de los 100 destinos verdes del mundo por *Green Destinations*, lo que se traduce como un aspecto positivo para el ecoturismo del país. En la actualidad existen operadores turísticos que ofrecen la navegabilidad del lago por medio de lanchas fabricadas en fibra de vidrio, el cual es un material que, a pesar de presentar las propiedades adecuadas para la fabricación y uso para estas embarcaciones, durante la producción se desarrollan contaminantes dañinos tanto para el medio ambiente como para el operario. Por lo que se considera pertinente generar un material compuesto en base a resina poliéster y residuos de la producción del maíz, que presente propiedades similares a la fibra de vidrio, siendo una opción más sustentable y amigable tanto para el hombre como para el medio ambiente.

Objetivo General

Desarrollar un material compuesto en base a la resina poliéster y los residuos de la producción de maíz que cumpla las propiedades físicas, mecánicas y productivas necesarias para competir con los compuestos de fibra de vidrio en la producción de embarcaciones.

Objetivos Específicos

1. Elaborar compuestos con diferentes porcentajes entre las fibras de los residuos de maíz y la resina poliéster con el objetivo de determinar cuál es la configuración que presenta mejores propiedades.
2. Desarrollar pruebas físicas, mecánicas y de impermeabilidad del compuesto seleccionado previamente entre fibras de residuos de maíz y resina poliéster con la finalidad de compararlas con las propiedades presentes en la fibra de vidrio
3. Evaluar la posibilidad de aplicación de dicho compuesto a base de residuos de maíz y resina poliéster en embarcaciones para el lago de Tota con la finalidad de establecer la factibilidad de su uso en dicha aplicación.

Método

La metodología a utilizar en el presente proyecto inicia con la obtención y utilización de las fibras que se encuentran en los residuos generados en la producción de maíz dentro del sector del lago de Tota, en donde se divide por actividades pertinentes para cada uno de los objetivos específicos mencionados

Objetivo 1

- Determinar cuáles de los residuos que se generan en la producción de maíz pueden utilizarse para realizar un material compuesto en relación con resina poliéster
- Recolección y secado de las fibras del maíz
- Establecer las variaciones en la composición de la estructura de las fibras de maíz
- Utilizar una tabla de variación en la cantidad de los materiales a utilizar (10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 %) para desarrollar las probetas.
- Someter cada una de las probetas a los siguientes ensayos basados en las normas ASTM 2018
 - ✓ Resistencia vs peso
 - ✓ Tenacidad a la fractura
 - ✓ Resistencia a la fatiga
 - ✓ Resistencia a la absorción de agua
 - ✓ Resistencia mecánica
 - ✓ Resistencia térmica
 - ✓ Cualidades adhesivas
 - ✓ Resistencia al intemperismo
 - ✓ Resistencia a otros líquidos y sólidos
 - ✓ Flotabilidad del material
- Comparar y evaluar los resultados de cada una de las configuraciones realizadas
- Describir los hallazgos encontrados
- Seleccionar la probeta con mejores características y propiedades resultantes de las pruebas mencionadas

Objetivo 2

- Someter las probetas de fibra de maíz y fibra de vidrio a los siguientes ensayos basados en las normas ASTM 2018
 - ✓ Resistencia vs peso
 - ✓ Tenacidad a la fractura
 - ✓ Resistencia a la fatiga
 - ✓ Resistencia a la absorción de agua



- ✓ Resistencia mecánica
 - ✓ Resistencia térmica
 - ✓ Cualidades adhesivas
 - ✓ Resistencia al intemperismo
 - ✓ Resistencia a otros líquidos y sólidos
 - ✓ Flotabilidad del material
- Comparar y evaluar los resultados recolectados en base a las 2 probetas
 - Describir los hallazgos encontrados

Objetivo 3

- Establecer los procesos actuales para la construcción de embarcaciones en fibra de vidrio para una embarcación
- Evaluar la adaptabilidad del material compuesto en base a desechos de la producción del maíz junto con una resina poliéster, en la producción de embarcaciones.

Resultados y discusiones

Por medio de la presente investigación, se espera establecer la viabilidad del uso de fibras naturales para la producción de embarcaciones y así establecer una alternativa sustentable que reemplace a la fibra de vidrio, aprovechando los desechos generados en la producción del maíz que permitan cumplir con las licencias ambientales dentro del lago de tota, y amplié el panorama de usos de este tipo de materiales para la construcción, con la finalidad de mejorar las condiciones laborales en la producción y el impacto ambiental que actualmente se genera.

Conclusiones

La sustitución de la fibra de vidrio en las embarcaciones del lago de tota, por un material en base a fibras naturales producidas por residuos de la misma región, se entiende como una forma sustentable y eficiente que permite el desarrollo de los habitantes del sector, ya que se permitiría generar subeconomías relacionadas con el sector agrícola del cultivo de maíz al igual que los fabricantes de embarcaciones, los cuales serían beneficiados brindando un aporte al ecosistema de una belleza turística natural tan importante como lo es el lago de Tota.

Agradecimientos

A cada uno de los integrantes de mi grupo de investigación DITMAV, los cuales han sido fundamentales y trascendentales tanto en el desarrollo del proyecto como en mi formación como profesional.

Referencias

- Gobernación de Boyacá. (2017). *Observatorio Económico Boyacá. Sector Agropecuario*. Recuperado de: <http://www.boyaca.gov.co/economico/sectores-economicos/sector-agroindustrial>
- Ministerio de Agricultura. (2017). *Sector Maíz Tecnificado. Indicadores e Instrumentos*. Recuperado de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20-%202017%20Diciembre%20Ma%C3%ADz%20Tecnificado.pptx>
- Unidad de Cultura Científica y de la Innovación de la Universidad de Córdoba, España. (UCCi). (13 de febrero de 2018). Nanocristales de celulosa a partir de residuos de maíz. Recuperado de: <https://www.uco.es/investigacion/ucci/uconews/item/1995-nanocristales-de-celulosa-a-partir-de-residuos-de-maiz>



Generación de un material tri-compuesto de concreto con fibras de phormium tenax y resina poliéster, como alternativa sustentable para la fabricación de sistemas flotantes acuáticos aplicados a alojamientos vacacionales dentro del lago de Tota, Boyacá

Generation of a tri-composite concrete material with phormium tenax fibers and polyester resin, as a sustainable alternative for the manufacture of aquatic floating systems applied to holiday accommodation within Lake Tota, Boyacá

Modalidad: Poster

Angélica María Ruiz Pinto¹
Pilar Astrid Ramos Casas²
Jorge Arturo Tórres Pemberti³

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Diseño, Innovación y Asistencia Técnica en Materiales Avanzados-DITMAV, Carrera 18 con Calle 22, Duitama, Colombia. angelica.ruiz01@uptc.edu.co

² Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Diseño, Innovación y Asistencia Técnica en Materiales Avanzados-DITMAV, Carrera 18 con Calle 22, Duitama, Colombia. pilar.ramos@uptc.edu.co

³ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Diseño, Innovación y Asistencia Técnica en Materiales Avanzados-DITMAV, Carrera 18 con Calle 22, Duitama, Colombia. jorge.torres@uptc.edu.co

Resumen

¿Es posible generar un material resistente a partir de fibras naturales? El hormigón es indispensable y esencial para nuestras vidas, actualmente el 70 % de la población mundial habita en edificaciones con estructuras de hormigón, ¿Es posible reemplazar este material por un compuesto a base de fibras naturales? por supuesto, gracias a las necesidades de aprovechar al máximo los recursos actuales se han logrado grandes avances en la evolución de muchos materiales de ingeniería, tanto que ahora la innovación en estos tienen como protagonistas a las fibras naturales capaces de generar estructuras con propiedades mecánicas considerables en cuanto a compresión, tracción, dureza, resistencia al impacto y permeabilidad. ¿Se pueden aplicar fibras naturales como compuestos a sistemas flotantes en agua?

Palabras claves: *Compuesto, fibra, material, resina, sustentabilidad.*

Introducción

El Lago de Tota es un sector natural protegido por Corpoboyacá (Corporación autónoma regional de Boyacá) líder del desarrollo sostenible del departamento a través del ejercicio de autoridad ambiental (Corpoboyacá, 2016), por consiguiente todas las licencias medio ambientales para uso y aprovechamiento del lago deben ser revisadas y aprobadas por dicha corporación. Actualmente este destino verde está en la mira mundial por su riqueza natural, tanto así que se ha convertido en una joya del turismo natural de Colombia y gracias a esto, recibió la premiación en la feria internacional del turismo en Alemania (ITB Berlín 2018) como el segundo lago más grande de América del Sur y tercer destino verde más atractivo de las Américas (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

Así es como gracias a este título internacional, se ha producido una llegada masiva de turistas extranjeros y visitantes nacionales curiosos por admirar, disfrutar y grabar una experiencia enriquecedora de contacto con la naturaleza a tal nivel que este fenómeno se ha prestado para identificar oportunidades de planeación y desarrollo turístico, puesto que, se quiere usar controladamente las aguas del lago en programas recreativos y vacacionales que regeneren las actividades económicas del sector y que a su vez respeten y equilibren el ecosistema (Gobernación de Boyacá, Colombia, 2016).

Ahora bien, si se pretende ingresar un cuerpo extraño artificial a la laguna, este debe cumplir con toda la reglamentación ambiental para garantizar la conservación de las propiedades y características naturales internas y externas del ecosistema, con base a esto nace la necesidad de prever y generar un material tri-compuesto respetuoso de las aguas a base de policoncreto reforzado con fibras extraídas de la planta llamada Formio (Phormium Tenax) y resina poliéster, como alternativa sustentable para la fabricación de sistemas flotantes acuáticos que serán aplicados a propuestas de alojamientos vacacionales las cuales están visualizadas para su instalación dentro del Lago de Tota.

Actualmente las fibras naturales son las protagonistas de la tendencia mundial por investigar y desarrollar materiales sostenibles para ingeniería. Estas evolucionan al ser sometidas a modernos procesos de refuerzo con cargas estructurales heterogéneas de matrices mezcladas con resinas y aditivos que aumentan sus capacidades fisicomecánicas y a su vez los hacen muy útiles cuando se quiere remplazar un material tradicional generador de altos contenidos de CO₂ por un material compuesto con miras a su sustentabilidad, ahora bien, la iniciativa para desarrollar esta propuesta de diseño radica en la necesidad de experimentar con un material compuesto a partir fibras naturales extraídas de una planta perenne muy común en la región del Lago de Tota llamada Phormium Tenax pero conocida en la jardinería como Formio o Lino de Nueva Zelanda, las fibras de esta planta resaltan por su resistencia a tal punto que han sido usadas en la fabricación de textiles, cestas, esteras y redes de pesca, estas hojas se caracterizan por ser erectas y rígidas que crecen en forma de abanico sobre un rizoma horizontal corto, grueso y carnoso que se ramifica (Harris y Woodcock-Sharp, 2000).

Con la utilización de esta fibra como elemento estructural (carga) en el material compuesto que se pretende desarrollar va permitir generar un nuevo material con características fisicomecánicas adecuadas para su posible aplicación en estructuras de tipo flotante para ser utilizadas en el Lago de Tota, una vez creado el material y realizados los ensayos del mismo, se pasara a comparar el nuevo producto con una mezcla de hormigón elaborada con porcentajes tradicionales usados en la fabricación de sistemas o cámaras flotantes de hormigón. Así mismo, las pruebas de comparación entre el material compuesto y el cerámico tradicional, serán la base para determinar la idoneidad del material en cuanto a características, propiedades y del más importante, el uso de este compuesto en la fabricación de sistemas flotantes para habitación humana.

Materiales y Métodos

Para el presente proyecto se plantea en primera medida, utilizar las hojas de Formio obtenidas de la región del Lago de Tota y sus alrededores, como materia prima para la extracción de las fibras en estas contenidas, con el propósito de extraer mediante técnica de raspado, en la que se utilizará una herramienta manual llamada cardadora y una descortezadora de cabuya. (En dado caso que sea necesario extraer químicamente por enriado, se contemplara el uso de procesos de fermentación microbiológica (maceração) de las hojas para separar los haces fibrosos de las porciones leñosas del tallo).



Una vez superada la etapa de extracción de las fibras, se proporcionara la mezcla de concreto en relación al porcentaje de resina poliéster (50 %), una vez calculada esta mezcla (homogeneizada), se diseñan las probetas con carga de concreto, resina poliéster a las que se le generaran diferentes estructuras o cargas heterogéneas con la fibra de Formio (10 % al 40 %). las 4 probetas de ensayos para este tipo de compuestos se deben realizar con base en la norma ASTM D.

Una vez curados completamente los materiales, finalmente se evalúa el comportamiento mecánico del compuesto obtenido bajo las pautas actuales, realizando los ensayos de las probetas bajo las siguientes normas (ASTM International, 2018).

- Ensayo de Resistencia a la Compresión: ASTM C-39
- Ensayo de Tracción: ASTM D-638
- Ensayo de Flexión: ASTM D-790
- Ensayo de Resistencia al impacto: ASTM D-276
- Ensayo de Densidad: ASTM D-792
- Ensayo de Permeabilidad al Agua: ASTM DI-653

Resultados y discusiones

Los resultados que se pretenden alcanzar con el desarrollo de este material compuesto son:

- Conocer y entender el comportamiento de un tri-compuesto entre concreto, resina poliéster y fibra de Formio en un ambiente natural (Lago de Tota) donde será completamente inmerso bajo agua dulce.
- Identificar aproximadamente el ciclo de vida de este material compuesto al estar sumergido en agua de temperaturas oscilantes entre -3 °C y 12 °C
- Registrar el comportamiento de las mezclas en diferentes proporciones de concreto y resina poliéster en función de la temperatura del agua a la que serán sometidas.
- Generar un avance en las investigaciones enfocadas a la creación de materiales compuestos sustentables que incorporan refuerzos estructurales a partir de fibras naturales extraídas de Formio.

Conclusiones

Gracias al desarrollo de proyectos como este, se puede concluir que la preparación de un material compuesto con refuerzo de fibra natural puede presentar varias aplicaciones para el sector industrial en el que sin lugar a dudas es clara una oportunidad de ofrecer al mercado la opción de obtener un material compuesto con diferentes características y capacidades fisicomecánicas, el cual permite usar materiales naturales que son propios de la región andina donde afortunadamente abundan en la exuberancia natural, estos a su vez brindan la posibilidad de que estos recursos se usen como materia prima estructural para diferentes aplicaciones que viabilizan miles de combinaciones de cargas con fibras naturales a las que se acceden con facilidad. Ya para finalizar, esta propuesta puede ser empleada como una guía básica para investigadores que deseen incursionar en la configuración de nuevos materiales de todo tipo y aplicación.

Agradecimientos

A todos los profesores de mi grupo de investigación DITMAV por su colaboración, ayuda y apoyo constante en mi formación como tesista y profesional en diseño industrial.

Referencias

- ASTM American Society of Testing Materials. (2018). Standards Search: D. Recuperado de www.astm.org/Standard/alpha-lists/D.html
- Corpoboyacá, C. (2016). Misión, visión y objetivos. Recuperado de www.corpoboyaca.gov.co/la-corporacion/mision-vision-y-objetivos/
- Gobernación de Boyacá, Colombia. (2016). Plan de departamental de desarrollo de Boyacá – Creemos en Boyacá, Tierra de paz y libertad - 2016-2019. Recuperado de: www.boyaca.gov.co/gobernacion/politicas-planes-y-programas/9498-pdd-boyaca-2016-2019
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Colombia. (7 de Marzo de 2018). Lago de Tota es premiado como uno de los mejores destinos verdes de las Américas. Recuperado de: www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3647-lago-de-tota-es-premiado-como-uno-de-los-mejores-destinos-verdes-de-las-americas
- Harris, W., y Woodcock-Sharp, M. T. U. A. (2000). Extraction, content, strength, and extension of Phormium variety fibres prepared for traditional Maori weaving. *New Zealand Journal of Botany*, 38(3), 469-487.



Materiales compuestos residuales con aplicaciones en la industria de la construcción

Residual composite materials with applications in the construction industry

Modalidad: Póster

Daniel Ávila¹
Brandon Suárez²
Stiven Astudillo³
Carolina Caicedo⁴
Yenny Ávila⁵

¹ Universidad Tecnológica de Pereira, Química de coordinación y organometálica en materiales moleculares, dirección, Pereira, Colombia.

² Universidad Tecnológica de Pereira, Química de coordinación y organometálica en materiales moleculares, dirección, Pereira, Colombia.

³ Universidad Católica de Pereira. Carrera 21 No. 49-95 Av. de las Américas; Pereira, Colombia

⁴ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Grupo de Investigación en Desarrollo de Materiales y Productos GIDEMP, Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria.- ASTIN.

⁵ Universidad Tecnológica de Pereira, Química de coordinación y organometálica en materiales moleculares, dirección, Pereira, Colombia. yennypatricia.avila@utp.edu.co

Resumen

Este proyecto presenta una visión industrial en conjunto con la agricultura. Para esto, se ha abordado un problema general de interacción entre productos (cadena agroindustrial de la planta de plátano y reutilización de residuos poliméricos convencionales e industriales) que funcionan dentro de un contexto sostenible y una propuesta ambientalmente amigable. Se llevará a cabo el desarrollo de dos materiales compuestos óptimos (celulosa - plátano) PET, celulosa (plátano-PP) y Celulosa – plátano (Polvo poliéster de fibra de vidrio) obtenidos del proceso de extrusión monohusillo, caracterizados química, espectroscópica y mecánicamente. Posteriormente, se llevará a cabo la construcción de un prototipo de teja en términos de reúso ambiental, producidas con los materiales compuestos sintetizados con dimensiones comerciales y enriquecidas con materiales orgánicos absorbentes que han sido probados anteriormente en el grupo de investigación.

Palabras claves: Material compuesto, polímeros residuales, residuos agroindustriales e industriales, construcción.

Introducción

La necesidad de desarrollar y comercializar materiales que contengan fibras vegetales ha crecido para reducir el impacto ambiental y alcanzar la sostenibilidad. Se generan grandes cantidades de materiales lignocelulósicos en todo el mundo a partir de varias actividades humanas. Los materiales lignocelulósicos están compuestos de celulosa, hemicelulosa, lignina, extractos y cenizas. Recientemente, estos constituyentes se han utilizado en diferentes aplicaciones; en particular, la celulosa ha sido objeto de numerosos trabajos sobre el desarrollo de materiales compuestos reforzados con fibras naturales con mejoras en las propiedades mecánicas, físicas y térmicas (Singh, Gupta, Tarannum, y Randbwa, 2011). En el contexto de innovación, estos materiales lignocelulósicos han sido aplicados en sistemas eficientes y sostenibles debido al crecimiento de la conciencia ambiental a nivel mundial. Las fibras de celulosa proporcionan resistencia, y la lignina, otro biopolímero hidrofóbico, actúa como un adhesivo para unir las fibras en una matriz cerca de la superficie. En la actualidad, la producción anual de fibras naturales en la India es de aproximadamente seis millones de toneladas en comparación con la producción mundial de alrededor de 25 millones de toneladas. En la laminación a baja presión, el uso de fibras de vidrio es casi un

monopolio. En los últimos tiempos, la falta de competitividad de los componentes de plástico reforzado con fibra de vidrio en aplicaciones donde las características de resistencia no son primordiales, ha llevado a los moldeadores a buscar un refuerzo que proporcione las propiedades necesarias a la vez que reduce el costo. Esto ha dado lugar a un creciente interés en el refuerzo de fibras naturales. Por esto, la diversificación de las fibras naturales de los mercados tradicionales, no solo fortalece la actividad en el área de sustitutos de la madera y productos moldeados, sino que también conserva recursos forestales que ayudan a mantener nuestro equilibrio ecológico. Como recubrimientos se han usado diversos tipos de resinas matriciales como las fenólicas (Sarkar y Adhikari, 2001), poliéster insaturado, éster de vinilo y epóxidos (Gassan y Bledzki, 1999). se han utilizado en la fabricación de compuestos de fibras como el yute (Gassan y Bledzki, 1997). Las resinas de poliéster insaturadas se usan ampliamente como matrices compuestas debido a su bajo costo, baja viscosidad y resistencia óptima. Sin embargo, son propensas a microfisuras y fallas secundarias de adherencia debido a su poca tenacidad, menor adhesión con fibras y un alto volumen de contracción durante el proceso de curado. Por lo tanto, las mejoras en las propiedades del poliéster son altamente deseables para mejorar su tenacidad por técnicas de polímeros interpenetrantes. Las propiedades de los polímeros con material particulado están determinadas por varios factores tales como las propiedades de los componentes (matriz/carga), composición y estructura, además de las propiedades de los componentes y características mecánicas de estos materiales se ven influenciadas significativamente por las interacciones interfaciales; las cuales dependen del tamaño de la interfaz y la fuerza de la interacción (Raslam, Fathy, y Mahamed, 2018; Demjén, Pukánszky y Nagy, 1998). Esto explica la incorporación de aditivos tales como agentes de acoplamiento o compatibilizantes para mejorar aún más las propiedades (Leong, Abu, Mohd, y Ariffin, 2004). Sin embargo, la dispersión homogénea de las partículas en la matriz termoplástica es un proceso difícil (Ha y Xanthos, 2010) y continúa siendo objeto de estudio. Por otra parte, y en consecuencia con los altos costos de materias prima, así como altos índices de contaminación proveniente del plástico resulta importante desarrollar nuevos materiales a partir de residuos post-industriales como el PET, PP y PPFV (polvo poliéster de fibra de vidrio) con los que se logre además mayor rentabilidad económica. De acuerdo a estudios previos, el polipropileno reciclado presenta un bajo desempeño termo mecánico debido a las escisiones beta que ocurren en el proceso de degradación, por lo cual es de gran importancia diseñar, implementar y validar alternativas para dispersar cargas minerales en una matriz plástica (polipropileno) reciclada utilizando el proceso de extrusión monohusillo modificado para garantizar un óptimo mezclado y desarrollo de nuevos compuestos poliméricos. En el caso de polietileno, la viscosidad compuesta no solo disminuye a medida que la intensidad del ultrasonido (Hang, Xiating, Zhengrong y Zhang, 2017), la temperatura experimental y el tamaño de partícula aumentan, sino que también disminuyen a medida que disminuye el contenido de carga (Dordinejad, Sharif, Ebrahimi, y Rahedi, 2018). Esto abre muchas vías de desarrollo en procesos de transformación. El reto innovador de este proyecto en este aspecto constituye, desarrollar los materiales compuestos descritos y lograr una adecuada separación, distribución y dispersión de sus componentes.

Materiales y Métodos

El residuo del pseudotallo del plátano se obtiene físicamente por convenio con las asociaciones de cultivadores de plátano de Risaralda. Los pseudotallos se cortarán en secciones de 30 cm, se lavarán con agua y se secarán al sol. Las fibras se obtienen mediante un tratamiento con hidróxido de sodio al 10 % para eliminar ceras, pectinas y resinas contenidas en el mismo, y posteriormente se desfibrarán en forma manual. La celulosa se obtendrá mediante el procedimiento reportado en la literatura (Canché-Escamilla, De los Santos-Hernández, Andrade-Canto y Gómez-Cruz, 2005), se llevará a cabo por triplicado para cada uno de los residuos. Se variará el pH final de etapa de cloración (9,2 y 8,4) así como la concentración de NaOH (20 y 25 %) durante la hidrólisis alcalina, con el fin de determinar el efecto de estas variables sobre las propiedades de la celulosa (Brienzo, Fikizolo, Benjamin, Tyhoda, y Görgens, 2017; Shimizu, *et al.*, 2018). Las fibras se secarán a temperatura ambiente y posteriormente se secarán en una estufa de vacío. Posteriormente estos materiales serán mezclados con polietileno, polipropileno residual y polvo poliéster de fibra de vidrio en una proporción 20-80 con el material absorbente en un porcentaje del 2 %.

**Tabla 1.** Metodología para caracterización y obtención de materiales compuestos.

Tratamiento del material	Tamaño de material lignocelulósico seco y molido	Variables a determinar del material lignocelulosico a partir de TGA y DSC	Análisis Reológico
Tratamiento con NaOH (Material lignocelulósico), 60 °C, 72 h	1-499 μm 500-1000 μm	T _m , T _{máx} , T ₁₀ , H _m	Torque Máx, Torque estabilización
Tratamiento con NaOH (Material lignocelulósico), 110 °C, 24 h	1-499 μm 500-1000 μm		
Material lignocelulósico sin tratar con NaOH, 60 °C,	1-499 μm 500-1000 μm		
Pruebas	Análisis térmico TGA/DSC (25°C - 400°C, 10 °C/min, N ₂)	Análisis Mecánico (resistencia a la tracción, módulo young)	SEM (superficie de fractura)
Muestras	Material polimérico (80 %)	Fibra (20 %)	

Fuente: Los autores.

Resultados y discusiones

Se considera que los materiales compuestos obtenidos presentarán propiedades mecánicas mejores que los materiales de partida de forma independiente, celulosa, PET, PP o PPFV. Esto es propuesto, ya que la formación de la teja implicará una estructura de material compuesto, absorción del material fotosensibilizador y recubrimiento con látex seco lo cual podría aumentar la propiedad de flexión del compuesto, la resistencia a la flexión aumenta y el módulo de flexión (Gassan, y Bledzki, 1999). En el aspecto de degradación, la lignina con la exposición a los rayos UV se afecta absorbiendo longitudes de onda visibles cortas. La exposición a los rayos UV también dañan el ligante de lignina, lo que lleva a la separación de las fibras de celulosa y a la erosión de la superficie en estos sistemas (Berdahl, Hashem, Levinson, y Miller, 2008). Por lo tanto, la propuesta de este proyecto involucra la construcción de un prototipo de teja a partir de material compuesto, en donde un recubrimiento con materiales absorbentes en la región del visible como fotosensibilizadores permitirá proteger la estructura y funcionalidad de la teja como celda fotovoltaica (Hashem, y Touchaei, 2014). También es importante mencionar que hay variables que determinarán el éxito del proyecto, y en este aspecto se considera que los análisis térmicos (TGA y DSC) proporcionarán información indispensable para determinar las variables de proceso, evitando degradación de los componentes por separado o en mezcla y por esta razón el uso de sonicación permitirá mejorar el modelo. Se trabajará en un diseño estructural del prototipo, teniendo en cuenta la circulación del aire, superficie expuesta e inclinación. Así como la conexión de los electrodos (cátodo y ánodo) en el proceso fotovoltaico sobre el fotosensibilizador.

Referencias

- Berdahi, P., Hashem, A., Levinson, R. y Miller, W. (2008). Weathering of roofing materials- An overview. *Construction and building materials*, 22(4), 423-433. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.10.015>
- Brienzo, M., Fikizolo, S., Benjamin, Y., Tyhoda, L., y Görgens, J. (2017). Influence of pretreatment severity on structural changes, lignin content and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse samples. *Renewable*

- energy*, 104, 271-280. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.037>
- Canché-Escamilla, G., De los Santos-Hernández, J. M., Andrade-Canto S., y Gómez-Cruz, R. (2005). Obtención de celulosa a partir de los desechos agrícolas del banano. *Información tecnológica*, 16(1), 83-88. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>
- Demjén, Z., Pukánszky, B., y Nagy, J. (1998). Evaluation of interfacial interaction in polypropylene/surface treated composites. *Composites part A: applied science and manufacturing*, 29(3), 323-329. doi: [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(97\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(97)00032-8)
- Dordinejad, A. K., Sharif, F., Ebrahimi, M., y Rahedi, R. (2018). Rheological and thermoreological assessment of polyethylene in multiple extrusion process. *Thermochimica acta*, 668, 19-27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.08.010>
- Gassan, L., y Bledzki, A. K. (1997). The influence of fiber-surface treatment on the mechanical properties of jute-polypropylene composites. *Composites part A: applied science and manufacturing*, 28(12), 1001-1005. doi: [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(97\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(97)00042-0)
- Gassan, L., y Bledzki, A. K. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in polymer science*, 24(2), 221-274. doi: [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5)
- Ha Uk, J., y Xanthos M. (2010). Novel modifiers for layered double hydroxides and their effects on the properties of polylactic acid composites. *Applied clay science*. 47(3-4), 303-310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.11.033>
- Hang, X., Xiating, X., Zhengrong, y Zhang, I. (2017). Effects of ultrasonic on the reological behavior of high-density polyethylene composites filled with flash aluminium flake pigments. *Applied polymer*, 134, 44906-44910.
- Hashem, A. y Touchaei, G. (2014). Modeling and labeling heterogenous directional reflective roofing materials. *Solar energy materials and solar Cells*, 124, 192-210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.01.036>
- Leong, Y. W., Abu Bakar, M. B., Mohd Ishak, Z. A., y Ariffin, A. (2004). Characterization of talc/calcium carbonate filled polypropylene hybrid composites weathered in a natural environment. *Polymer degradation and stability*, 83(3), 411-422. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2003.08.004>
- Raslam, H., Fathy, E. S., y Mohamed, R. (2018). Effect of gamma irradiation and fiber surface treatment on the properties of bagasse fiber- reinforced waste polypropylene composites. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 23(2), 181- 192. doi: <https://doi.org/10.1080/1023666X.2017.1405535>
- Sarkar, S., y Adhikari, B. (2001). Thermal stability of lignin-hydroxy-terminated polybutadiene copolyurethanes. *Polymer degradation and stability*, 73(1), 169-175. doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00084-2](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00084-2)
- Shimizu, F. L., Monteiro, P. Q., Ciconello, P. H., Melati, R. B., Pagnocca, F. C., de Souza, W., Sant'Anna, C., Brienzo, M. (2018). Acid, alkali and peroxide pretreatments increase the cellulose accessibility and glucosa yield of banana pseudostem. *Industrial crops and products*, 115, 62-68. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.024>
- Singh, B., Gupta, M., Tarannum, H. y Randbwa, A. (2011). Natural fiber- based composite building materials. *Cellulosa Fibers: Bio and Nano- polymer composites*. (pp701-720). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-17370-7_24



Obtención de nanocompuestos de matriz polimérica para aplicaciones electroquímicas

Obtaining polymer matrix nanocomposites for electrochemical applications

Modalidad: Póster

Diana Meliza Suárez-Santafé¹
Lisel Johanna Olarte-Guerrero²
Helia Bibiana León-Molina³

¹ Universidad ECCI, Cra. 19 #49-20, Bogotá, Colombia.

² Universidad ECCI, Cra. 19 #49-20, Bogotá, Colombia.

³ Universidad ECCI, Cra. 19 #49-20, Bogotá, Colombia. hleonm@ecc.edu.co

Resumen

En esta investigación se busca sintetizar polímeros sulfonados de estireno (PS-SO) que se emplearán como matriz polimérica y estabilizantes de nanopartículas de bismuto (Bi) y estaño (Sn). Se obtuvieron nanocompuestos en dos pasos, primero, con estireno monómero grado industrial, se han sintetizado polímeros, a través de polimerización radicalica por emulsión acuosa en presencia de persulfato de potasio grado analítico y variando el grado de sulfonación con la finalidad de encontrar condiciones óptimas que permitan estabilizar las nanopartículas en la matriz, paso seguido se realizaron soluciones de PS-SO, de (ClBi) y de (ClSn) en dimetilformamida (DMF) para obtener nanopartículas in situ.

Palabras Claves: *Conductores, nanocompuestos, nanopartículas, polímeros.*

Introducción

Actualmente los materiales empleados para aplicaciones electroquímicas son materiales metálicos, que se caracterizan por sus excelentes propiedades de conductividad térmica y eléctrica. En el caso de electrodos para detección de contenido de sustancias en agua (Suarez, 2017) los electrodos empleados son principalmente de mercurio debido a sus propiedades electroquímicas particulares, pero es un material tóxico, además en temperatura ambiente su estado es líquido lo que limita su uso para ciertas aplicaciones como el caso de mediciones en línea, por lo que es deseable reemplazarlo. (Otero, 2003). En los últimos años (2011 en adelante) se ha venido estudiando el comportamiento de electrodos de película de bismuto con estaño (Xiong, Luo y Li, 2011; Pan *et al.*, 2012) y estaño (Tian, 2012) obtenidas in situ por electrólisis o a partir de aleaciones de soldadura de Bi-Sn, para el análisis de metales en solución. En general se ha encontrado que los electrodos con contenido de estaño tienen un comportamiento similar al de los electrodos de bismuto. Los desarrollos más recientes de los electrodos de bismuto se basan en la modificación del metal en forma nanoestructurada, en combinación con otros metales o con otros materiales como grafeno o polímeros (Chen, *et al.*, 2014; Li, *et al.*, 2014).

En el presente trabajo se sintetizó poliestireno sulfonado a partir del cual se obtuvieron soluciones en las que se llevó a cabo la síntesis in situ de las nanopartículas de los metales empleados. En las figuras 1 y 2 se muestra la unidad repetitiva del poliestireno (PS) y del poliestireno sulfonado PS-SO.

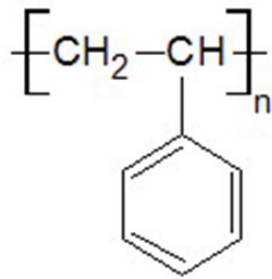


Figura 1. Estructura química del PS
Fuente: Los autores

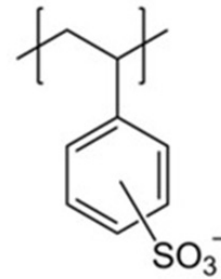


Figura 2. Estructura química del PS-SO
Fuente: Los autores

Materiales y Métodos

Se sintetizó PS de grado industrial a través de la técnica de polimerización vía radicales libres, en emulsión acuosa con presencia de persulfato de potasio, usando brij como agente surfactante y sulfonato de sodio como agente sulfonador. Se obtuvieron nanopartículas de (Bi) y (Sn) a partir de sus sales metálicas, con reacciones de reducción in situ en presencia de borohidruro de sodio y en soluciones de PS-SO.

Además, se realizaron películas de los nanocompuestos obtenidos para someterlos a caracterización bajo los ensayos de Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) y Microscopía electrónica de barrido (SEM). A los polímeros sulfonados obtenidos también se les realizarán pruebas de solubilidad en solventes comunes de poliestireno y viscosimetría con viscosímetro Cannon Fenske.

Resultados y discusiones

La figura 3 muestra el espectro de infrarrojo obtenido a partir de los nanocompuestos sintetizados.

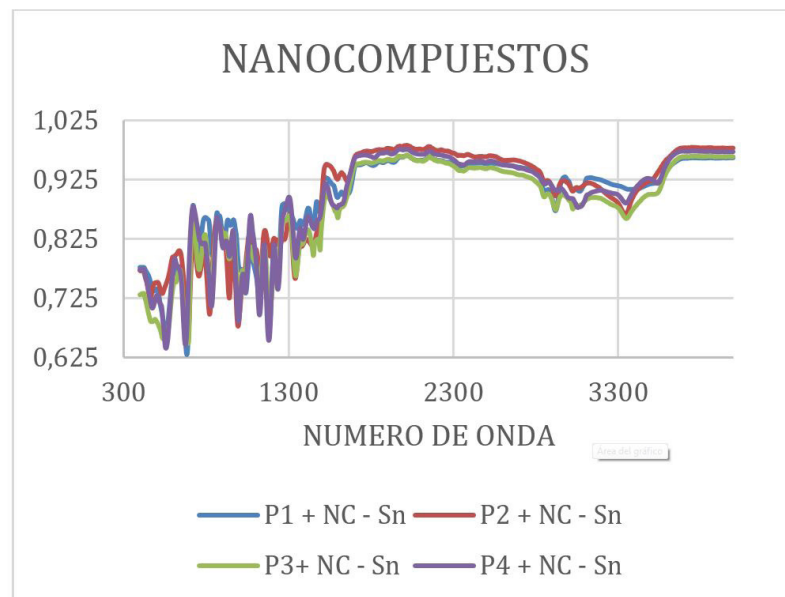


Figura 3. FTIR de los nanocompositos de estaño (Sn)
Fuente: Los autores



Se observan bandas de 3024, 3400 y entre 1400 - 1700 cm^{-1} , las cuales son característica para el poliestireno. Encontramos también éteres alifáticos entre las bandas de 1036 y 1182 cm^{-1} característico para el brij. Y las bandas del grupo sulfónico entre 1600-1650 cm^{-1} características para el sulfato de potasio. Para los espectros de los nanocompuestos observamos además de las bandas de absorción características para el poliestireno sulfonado anteriormente descritas, las bandas características de los grupos aromáticos bencénicos en 560, 684 y 824 cm^{-1} . Eventualmente se compararán los espectros obtenidos con las bandas de absorción reales identificadas para el poliestireno y las nanopartículas en sus estados puros. Posteriormente se les realizara ensayo SEM a todas las muestras a fin de identificar la influencia que tiene el grado de sulfonación de los polímeros en el tamaño y la dispersión de las nanopartículas en la matriz polimérica

Conclusiones

Se realizó la síntesis de nanocompuestos PS-SO/Sn y se realizaron análisis de FTIR para determinar posibles cambios en las bandas características debidas a la presencia del metal. Es necesario seguir con la caracterización estructural y funcional que permita concluir a cerca de los objetivos iniciales

Agradecimientos

Yuber Tiusaba Avendaño y Vicerrectoría de Investigación de la Universidad ECCI por el apoyo al Semillero de Investigación SIMP a través de la convocatoria 2018.

Referencias

- Chen, L., Li, Z., Meng, Y., Zhang, P., Su, Z., Liu, Y., ... & Yao, S. (2014). Sensitive square wave anodic stripping voltammetric determination of Cd_2^+ and Pb_2^+ ions at Bi/Nafion/overoxidized 2-mercaptoethanesulfonate-tethered polypyrrole/glassy carbon electrode. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 191, 94-101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.09.084>
- Li, Z., Chen, L., He, F., Bu, L., Qin, X., Xie, Q., ... & Luo, S. (2014). Square wave anodic stripping voltammetric determination of Cd_2^+ and Pb_2^+ at bismuth-film electrode modified with electroreduced graphene oxide-supported thiolated thionine. *Talanta*, 122, 285-292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.01.062>
- Otero, T. F. (2003). Polímeros conductores: síntesis, propiedades y aplicaciones electroquímicas. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 4(4), 1-50.
- Pan, D., Zhang, L., Zhuang, J., Lu, W., Zhu, R., y Qin, W. (2012). New application of tin-bismuth alloy for electrochemical determination of cadmium. *Materials Letters*, 68, 472-474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2011.11.038>
- Suarez, O. (2017). *Obtención y caracterización electroquímica y estructural de nanocompositos de copolímeros sulfonados/bismuto – estaño*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Tian, Y. Q., Luo, H. Q., y Li, N. B. (2012). Stannum film electrode for square wave voltammetric determination of trace copper (II). *Journal of Solid State Electrochemistry*, 16(2), 529-533. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-011-1363-2>
- Xiong, C. H., Luo, H. Q., y Li, N. B. (2011). A stannum/bismuth/poly (p-aminobenzene sulfonic acid) film electrode for measurement of Cd (II) using square wave anodic stripping voltammetry. *Journal of electroanalytical chemistry*, 651(1), 19-23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2010.11.011>

Desarrollo de ladrillos a base de polietileno y polipropileno reciclado: Efecto del tiempo y temperatura de preparación

Development of recycled polyethylene and polypropylene bricks: Effect of preparation time and temperature

Modalidad: Póster

Ivana Orjuela¹
Miguel Paredes²
Edwing Velasco³

¹ Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ, Grupo de Investigación en Reingeniería, Innovación y Productividad-GREIP, Km 12 vía Bucaramanga, Barrancabermeja, Colombia. ivana_orjuela_agudelo@hotmail.com

² Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ, Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental y de Saneamiento-IAS, Km 12 vía Bucaramanga, Barrancabermeja, Colombia. miguel.paredes@unipaz.edu.co

³ Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ, Grupo de Investigación en Reingeniería, Innovación y Productividad-GREIP, Km 12 vía Bucaramanga, Barrancabermeja, Colombia. edwin.velasco@unipaz.edu.co

Resumen

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar el efecto de la temperatura y tiempo de calentamiento y tipo de plástico reciclado utilizado en la elaboración de ladrillos, sobre su resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, densidad y absorción de agua. Se utilizaron dos tipos de plástico: polipropileno y polietileno de alta densidad, y temperaturas de entre 150 y 200 °C y tiempos entre 120 y 180 min. Las características fisicoquímicas de los ladrillos se analizaron en teniendo en cuenta las normas ASTM D695, D570, D792, D635. Se determinó una temperatura de 170 °C y un tiempo de 150 min permiten obtener ladrillos compactos, sin quema del plástico o emisión de gases. Así mismo, se concluyó que los ladrillos de plástico reciclado presentan una resistencia a la compresión mayor que los ladrillos convencionales, pero menor absorción de agua y densidad, especialmente en el caso de los ladrillos de polietileno.

Palabras claves: *Polietileno, polipropileno de alta densidad, resistencia mecánica.*

Introducción

La masiva fabricación y el consumo elevado de plástico dejan constantemente un excesivo volumen de desechos, principalmente porque estos son utilizados para empaques de innumerables productos y se descartan al poco tiempo de adquirirse (Haghighatnejad, Mousavi, Khaleghi, Tabarsa y Yousefi, 2016). Una alternativa para mitigar los impactos ambientales causados por el desecho de materiales plásticos es su reciclaje; la finalidad de esta actividad es, por una parte, evitar una mala disposición de los residuos, y por otra, darles un valor agregado o utilidad (Rajendran, Scelsi, Hodzic, Soutis, y Al-Maadeed, 2012). Existen diversos procesos de valorización del plástico reciclado: el recobro de energía o incineración, pirolisis, hidrogenación, gasificación, despolimerización para sintetizar materiales puros que den lugar a nuevos polímeros y calentamiento-extrusión para obtención de nuevos materiales conservando la identidad del plástico reciclado. Este último, se puede resaltar entre los demás debido a que tiene el más bajo costo energético y tiempo de procesamiento. Según Luzuriaga, Ková, y Fortelný (2011), el polipropileno y el polietileno de alta densidad son plásticos que pueden ser utilizados nuevamente (después de un ciclo) sin cambiar radicalmente sus propiedades mecánicas. La meta de este trabajo es estudiar



el efecto de la temperatura y tiempo de calentamiento y tipo de plástico reciclado utilizado en la elaboración de ladrillos, sobre su resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, densidad y absorción de agua.

Materiales y Métodos

Elaboración del ladrillo

Se utilizaron dos tipos de plástico reciclado: polietileno de alta densidad (PEADR) y polipropileno (PPR). El material reciclado fue cortado manualmente, fraccionado en una trituradora industrial y lavado con una solución acuosa de cal viva al 10 % en peso para retirar la suciedad. Finalmente se secó al sol hasta eliminar el agua libre. El plástico triturado fue vertido en moldes de acero inoxidable con dimensiones de 24 x 11,5 y 5,25 m³, e introducidos en un horno eléctrico a condiciones ambientales (aprox. 28 °C). El horno se programó para calentar hasta temperaturas de 150, 170 y 200 °C en 45 min, y luego mantenerse constante durante 120, 150 y 180 min. Transcurrido este tiempo, los moldes se retiraron del horno y se liberaron los ladrillos de plástico, los cuales se enfriaron naturalmente. Se obtuvieron ladrillos de PEADR, PPR, y una MEZCLA de estos dos plásticos en relación másica 1:1. Se utilizó como blanco de referencia un ladrillo convencional de arcilla de igual geometría, adquirido en una ferretería local en Barrancabermeja, Colombia.

Caracterizaciones

Se evaluó la resistencia a la compresión de los ladrillos de plástico reciclado de acuerdo con la norma ASTM D695, utilizando una máquina para ensayos de concreto (Modelo PC-180), compuesto por módulo de indicación, prensa hidráulica, bastidor de carga en acero 316 y plato de carga de 25 cm de diámetro. Los ladrillos fueron acomodados entre los platos de carga por el lado de mayor área y sometidos a un esfuerzo de compresión o prensado, hasta su fractura. Las velocidades de la prueba fueron: pretest de 1,3 mm/s, test de 1 mm/s y post-test de 1,3 mm/s. La resistencia a la compresión se determinó como la máxima carga realizada por la prensa durante el ensayo sobre el área de contacto. La densidad de los ladrillos se determinó por desplazamiento de agua de acuerdo con la norma ASTM D792. La absorción se determinó mediante el seguimiento del peso antes y después de la inmersión de los ladrillos en agua destilada, utilizando una báscula de mesa (con capacidad máxima de 10 Kg y legibilidad de 1 g), de acuerdo con lo reportado en la norma ASTM D570.

Resultados y discusiones

Se determinó que la naturaleza del plástico tiene influencia apreciable sobre el resultado del proceso de calentamiento; el PPR requiere más tiempo y/o temperatura que el PEADR o la mezcla de ambos materiales, para alcanzar la compactación. Esto puede estar relacionado con el hecho de que la temperatura de fusión de del PPR es mayor que la del PEADR, tal como lo reporta Vásquez (2015). De acuerdo con esto, las condiciones de temperatura y tiempo de calentamiento adecuados para la preparación de los ladrillos son 170 °C y 150 min; a estas condiciones no se presenta generación de gases ni quema del material plástico.

En la Tabla 1 se presentan las propiedades de los ladrillos obtenidos a partir PPR, PEADR, MEZCLA y ARCILLA. Se observa que aquellos fabricados a partir de plástico reciclado presentan mayor resistencia a la compresión que los convencionales de arcilla; esto puede deberse a que antes de fracturarse el ladrillo de plástico sufre una importante deformación mientras que los ladrillos de arcilla no se deforman, y en efecto se fracturan más rápido, tal como lo confirma el módulo de elasticidad. Así mismo, los ladrillos de plástico presentaron menor densidad y absorción de agua que los convencionales. Por otra parte, se observa que el PEADR presentó la mayor resistencia a la compresión que el PPR y la MEZCLA, así como menor densidad y mayor absorción de agua. Los resultados mostrados en la Tabla 1 son coherentes con los reportados en la literatura para dichos materiales (Al-Tulaian, Al-Shannag, y Al-Hozaimy, 2016). Durante la prueba de

resistencia a la compresión se determinó además que los materiales plásticos se recuperan significativamente después de la deformación, mientras que los de arcilla no.

Tabla 1. Propiedades de los ladrillos obtenidos a partir de plástico reciclado y arcilla (comercial)

Material	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (MPa)	Densidad (Kg/L)	% Absorción de agua
PPR	213,02	857,59	0,982	0,18
PEADR	221,02	426,54	0,773	0,19
MEZCLA	215,84	537,38	0,958	0,18
ARCILLA	139,21	-	1,62	2,28

Fuente: Los autores.

Conclusiones

Las condiciones de temperatura y tiempo de calentamiento del polipropileno y polietileno de alta densidad fueron estudiadas. Los ladrillos de cualquiera de estos dos plásticos reciclados alcanzan la compactación completa sin generación de gases o quema del material a 170 °C y 150 min, utilizando un horno de calentamiento y moldes metálicos. Los ladrillos obtenidos a partir de plástico reciclado por una parte superan la resistencia mecánica de los ladrillos convencionales de arcilla, y por otra, presentan menores valores de densidad y absorción de agua.

Referencias

- ASTM International (2015). *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*. (ASTM D695). West Conshohocken, PA.
- ASTM International (2013). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*. (ASTM D792). West Conshohocken, PA.
- ASTM International (2018). *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. (ASTM D570-98/2018). West Conshohocken, PA.
- Al-Tulaian, B. S., Al-Shannag, M. J., y Al-Hozaimy, A. R. (2016). Recycled plastic waste fibers for reinforcing Portland cement mortar. *Construction and Building Materials*, 127, 102–110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.131>
- Haghighatnejad, N., Mousavi, S., Khaleghi, S., Tabarsa, A., Yousefi, S. (2016). Properties of recycled PVC aggregate concrete under different curing conditions. *Construction and Building Materials*, 126, 943–950. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.047>
- Luzuriaga, S. E., Ková, J., y Fortelný, I. (2011). Stability of model recycled mixed plastic waste compatibilised with a cooperative compatibilisation system. *Polymer Degradation and Stability*. 96(5), 751-755. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2011.02.021>
- Rajendran, S., Scelsi, L., Hodzic, A., Soutis, C., y Al-Maadeed, M. (2012). Environmental impact assessment of composites containing recycled plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 60, 131– 139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.11.006>
- Vásquez, A. (2015). *Diseño del manual de normas y procedimientos administrativos de la escuela de ciencias y sistemas de la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. (Tesis doctoral). Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 228 p.



Evaluación nano-estructural de cristales de azúcar como mecanismo de cualificación de calidad

Nano-structural evaluation of sugar crystals as a quality qualification mechanism

Modalidad: Póster

Juan Camilo Zambrano Sánchez¹
Anthony Alexis Luna¹
Carlos Andrés Rosero²
Danilo André Revelo Vargas²

¹ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Surcolombiano de Logística Internacional, Tecnoacademia. Grupo de investigación, desarrollo, emprendimiento y aprendizaje. Ipiales, Nariño. Colombia. Alumno Inst, Educativa San Luis Gonzaga, Túquerres. juancamilo523@gmail.com

² Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Surcolombiano de Logística Internacional, Tecnoacademia. Grupo de investigación, desarrollo, emprendimiento y aprendizaje. Ipiales, Nariño. Colombia. Alumno Inst, Educativa San Luis Gonzaga, Túquerres.

³ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Surcolombiano de Logística Internacional, Tecnoacademia. Grupo de investigación, desarrollo, emprendimiento y aprendizaje. Ipiales, Nariño. Colombia. Alumno Inst, Educativa San Luis Gonzaga, Túquerres.

⁴ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Surcolombiano de Logística Internacional, Tecnoacademia. Grupo de investigación, desarrollo, emprendimiento y aprendizaje. Ipiales, Nariño. Colombia. darevelo95@misena.edu.

Resumen

La evaluación de propiedades en los materiales a escala micrométrica o nanométrica ha permitido caracterizar y encontrar defectos propios que permiten medir la calidad de diferentes materiales orgánicos e inorgánicos. En este trabajo se planteó analizar la superficie de cristales de azúcar como una estructura organizada y proponer así un mecanismo de cualificación de la calidad intrínseca al proceso de su elaboración. Para esto se empleó técnicas no destructivas de microscopía óptica diferencial (DOM) y microscopía de fuerza atómica (AFM). Como resultado se encontró que la velocidad de cristalización afecta significativamente el tamaño y la estabilidad superficial del cristal de azúcar en una forma inversamente proporcional. Además, mediante el empleo de AFM se puede diferenciar y establecer mecanismos de cualificación de la calidad de los cristales analizados, tanto para definir un nivel de calidad en el proceso de cristalización, reconocer el nivel de impurezas minerales presentes y el nivel de irregularidades presentes.

Palabras claves: *Calidad estructural, cristalización, microscopía.*

Introducción

La evaluación estructural ha sido y aun es una de las técnicas físicas empleadas en la industria para poder encontrar defectos en la forma como se disponen los materiales e incluso para verificar el nivel de calidad de una estructura, objeto, e incluso empaques (Obiols *et al.*, 2017). Además, este tipo de técnica puede emplearse hasta un nivel nanométrico para poder determinar características físicamente no visibles por el ojo humano, como es el caso de evaluación a nivel industrial en herramientas (Gao, Rohani, Gong y Wang, 2017) e incluso formas de organización a nivel celular (Chen *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2015; Fan y Ross, 2016; Uchihashi, Watanabe, Fukuda, Shibata, y Ando, 2016; Ozkan *et al.*, 2017). En el caso específico del azúcar, el cual es un edulcorante de origen natural, sólido, constituido en forma de cristales mediante procedimientos

industriales donde el paso crítico se centra en la cristalización de la solución de sacarosa que se concentra y posteriormente se enfría hasta que la concentración del soluto sea superior a su solubilidad a dicha temperatura, haciendo que el soluto salga de la solución formando cristales casi puros (Geankoplis, 2006). Sin embargo, la decisión de que un conjunto de cristales sea considerado como apto para comercializarse no sólo se centra en su rendimiento y pureza, sino que también entra en consideración factores como el tamaño y forma de los mismos; ya que siempre se desea que los cristales tengan tamaño uniforme, para evitar compresiones en el empaque, para facilitar la descarga, el lavado y el filtrado de los equipos empleados, para un comportamiento uniforme en su uso y un mejor precio de venta a nivel internacional; dado que algunas veces, los mercados solicitan cristales grandes aun cuando los pequeños puedan ser igualmente útiles. A pesar de esto y de que Colombia tradicionalmente es un país con historia en la producción de azúcar, los criterios para definir la calidad del azúcar cristalizada son bastante subjetivos, donde se ha optado por emplear alternativas de cualificación por colorimetría (nivel de pureza del azúcar blanco o para azúcar morena), por granulometría (para determinar el lote de producción), o raramente se emplea técnicas de análisis químico que ofrecen criterios confiables y precisos (Nagy *et al.*, 2013), pero son más costosas y destruyen las muestras analizadas causando un subproducto químico. Es en este punto donde si se toma los cristales de azúcar como una estructura organizada, se puede plantear el uso de técnicas físicas de análisis en su estructura superficial y así obtener parámetros de medición y cualificación de su calidad (Ma, Liu, y Wang, 2016); dado que un cristal de azúcar se puede definir estructuralmente como un poliedro de caras planas y vértices agudos formado por las moléculas de interés, las cuales guardan una distribución ordenada y repetitiva con ángulos entre sus planos. De esta forma el objetivo de este estudio se centró en la observación micro-estructural mediante DOM y AFM para determinar parámetros de evaluación en la calidad del azúcar, y así poder relacionar la estructura superficial con su composición y con la calidad inherente al producto cristalizado.

Materiales y Métodos

Las muestras de cristales de azúcar se seleccionaron de diferentes procedencias, tipos de azúcar (azúcar blanca y morena) y tipos de presentación existentes (empaques de 500 g y empaques de dosificación personal de 2 a 5 g). Para cada marca se seleccionaron varias muestras de diferentes empaques y partes del empaque, con el fin de evitar la variación durante el proceso de empaquetamiento. Así mismo, se generó cristales de sacarosa mediante cristalización rápida (sobresaturación y enfriamiento a temperatura constante de 8° C), como también cristalización lenta (saturación y enfriamiento a temperatura constante de 20° C) empleando un biorreactor de 5 litros liflux Lflus GX para obtener variación de las propiedades de los cristales obtenidos y diferenciar las propiedades físicas afectadas por la velocidad de cristalización (Ma *et al.*, 2016). Una vez obtenidos los cristales de azúcar, estos se removieron mediante vaciado y remoción del reactor, tal como se muestra en la figura 1. Este proceso se efectuó con el fin de obtener cristales estándares que no han sido sometidos a proceso de rozamiento por el empaque o transporte. En cuanto a la evaluación de la morfología de los cristales se optó por emplear microscopía óptica diferencial (DOM) en 10X en campo claro para observar las irregularidades en la superficie de los cristales. En este caso se empleó un Microscopio Motic BA410E acoplado a un sistema óptico de detección Moticom de 10 MegaPíxeles, iluminación de una lámpara de haluro de tungsteno de 12 a 100 voltios, con un cañón de convergencia de luz y una lente ocular. La microscopía de fuerza atómica (AFM) se realizó utilizando el microscopio NaoAFM de Nanosurf con una punta BudgetSensor ContactAI-G, con valores nominales de frecuencia de resonancia de 190 Khz y constante elástica de 0,2 N/m en modo contacto. Las mediciones fueron realizadas en un mínimo de dos de las caras de cada cristal, tomando áreas de evaluación de 1600 nm² a 2500 nm². Ambas microscopías se utilizaron para evaluar los cambios estructurales superficiales de los cristales de azúcar, sus correspondientes variaciones dependiendo de la marca de procedencia, basándose en el cambio de la conformación de las moléculas y el arreglo espacial propio de cada azúcar, para de esta forma definir la técnica y los parámetros de observación más adecuados para poder establecer un método de cualificación de la calidad en base a la estructura de cada muestra.

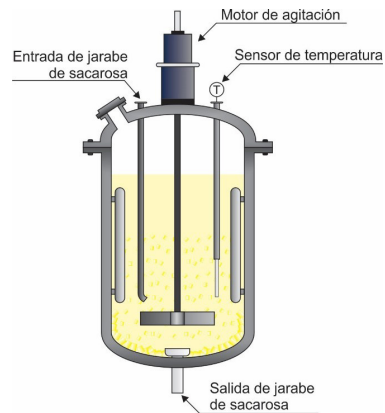


Figura 1. Modelo de cristalización lenta empleado a temperatura controlada mediante sistema de baches.
Fuente: Los autores.

Resultados y discusiones

Las muestras observadas mediante microscopía óptica diferencial revelaron que no existen variaciones visibles notorias para lograr la discriminación entre procedencias o métodos de elaboración, debido a que en la totalidad de las muestras la composición química es de sacarosa; motivo por el cual la relación de la luz en cada muestra es igual, tal como se observa en la figura 2. Así mismo, se observa en la mayoría de las muestras analizadas existe un grado de porosidad bajo debido al proceso de absorción de humedad o fracturas por rozamiento entre cristales, factores que no pueden ser considerados como parámetros de discriminación o cualificación de la calidad. En cuanto a la relación de tamaño, se logró identificar que esta es dependiente de la estabilidad o la velocidad de conformación de los cristales, donde cristales de tamaño mediano a grande (± 2.2 mm) mostraron características definidas de poliedros al presentar caras planas y vértices agudos (Figura 2A), lo cual incentiva al crecimiento ordenado de los cristales y un mayor tamaño final (Geankoplis, 2006; Velazquez, Bolaños-Reynoso, Rodriguez, y Alvarez-Ramirez, 2010). En el caso de cristales comerciales de menor tamaño (Figura 2B) se observó que existen conformaciones de mayor irregularidad, lo cual incide en el arreglo molecular de la sacarosa y el consecuente tamaño del cristal.

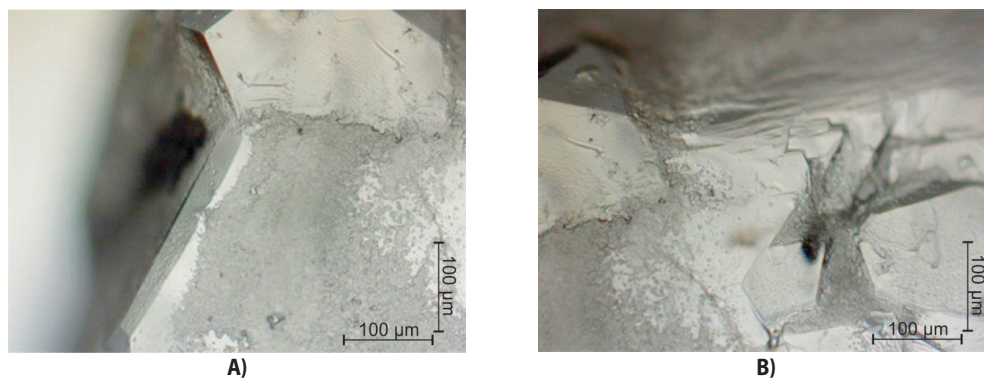


Figura 2. Análisis estructural mediante microscopía óptica diferencia en 10X de muestras de azúcar. **A)** Azúcar cristalizada en el laboratorio a velocidad lenta, **B)** Muestra de azúcar comercial.

Fuente: Los autores.

En el caso del análisis por microscopía de fuerza atómica (AFM) se encontró que existen variaciones estructurales entre las muestras analizadas. Específicamente en el caso de las muestras analizadas de la primera procedencia se encontraron diferencias estructurales, las cuales pueden ser observadas una vez las estructuras de los polisacáridos ya están fijas (Fishman y Cooke, 2009). En las muestras de cristales de azúcar de la primera procedencia (Figura 3A) se encontraron variaciones estructurales a un menor tamaño de cristales y se observó mayor número de irregularidades en su conformación; mientras que las muestras de la segunda procedencia (Figura 3B, y Figura 3C), presentaron cristales de mayor tamaño con

menor variación en la conformación estructural superficial, siendo las muestras de las muestras de la tercer procedencia, las muestras que obtuvieron un mayor tamaño de cristal en promedio (1.4 mm), en forma conjunta a un menor número de irregularidades superficiales). Por lo cual, el tamaño del cristal está relacionado de forma directa con su calidad estructural, siendo inversamente proporcional al grado de irregularidad en la superficie estructural del cristal.

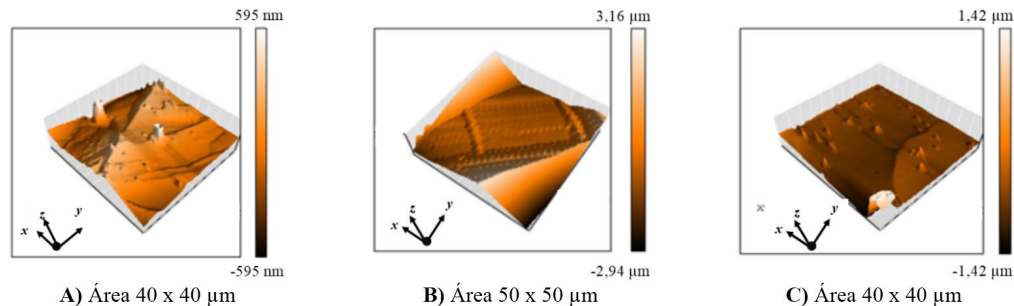


Figura 3. Análisis estructural mediante microscopía de fuerza atómica de muestras de azúcar blanca de empaques de 500 g de diferentes procedencias. A) Procedencia 1, B) Procedencia 2, C) Procedencia 3.

Fuente: Los autores.

En las muestras de azúcar morena, a diferencia de las otras, se observó un tamaño de cristal mucho mayor, aun con la presencia de irregularidades superficiales notorias, sin embargo, la alta concentración de partículas fue indicativo de la carga mineral procedente de la caña, causantes del color y sabor característico de este tipo de azúcar. Los minerales se adhieren a la superficie del cristal a manera de impurezas, los cuales no afectaron en la continuidad de la formación de los cristales, mostrando que la presencia de este tipo de minerales no afecta el proceso de cristalización que ocurría alrededor de ellos, tal como se logra observar en la figura 4.

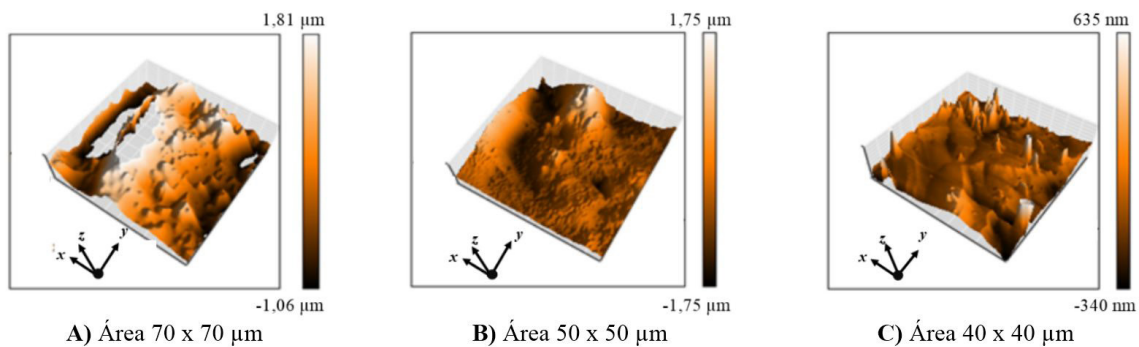


Fig. 4. Análisis estructural mediante microscopía de fuerza atómica de muestras de azúcar morena de empaques de 500 g procedente de diferentes procedencias. A) Procedencia 1, B) Procedencia 2, C) Procedencia 3.

Fuente: Los autores.

Para el caso de los cristales de azúcar en presentaciones de sobres personales o "sachet" de 2 a 5 g de contenido se observó cristales de menor diámetro de partícula (0,65 mm a 0,94 mm) y altas variaciones estructurales en la superficie de los cristales como se ilustra en la figura 5. Particularmente en las muestras de la primera procedencia se encontró una menor variación de la superficie de los cristales respecto a los empaques de mayor contenido, razón por lo cual se puede afirmar que durante el proceso de empaque no existe separación de los cristales según el tipo de presentación. Sin embargo, en las muestras de la segunda procedencia (Figura 5B) y tercera procedencia (Figura 5C) se encontró una clara alteración de la superficie de las muestras, con altas variaciones estructurales e irregularidades en la conformación de los cristales, motivo por el cual se puede asegurar que estas marcas si fraccionan el contenido de cristales de azúcar de menor tamaño y regularidad dirigidos a los sobres de menor contenido o de uso personal.

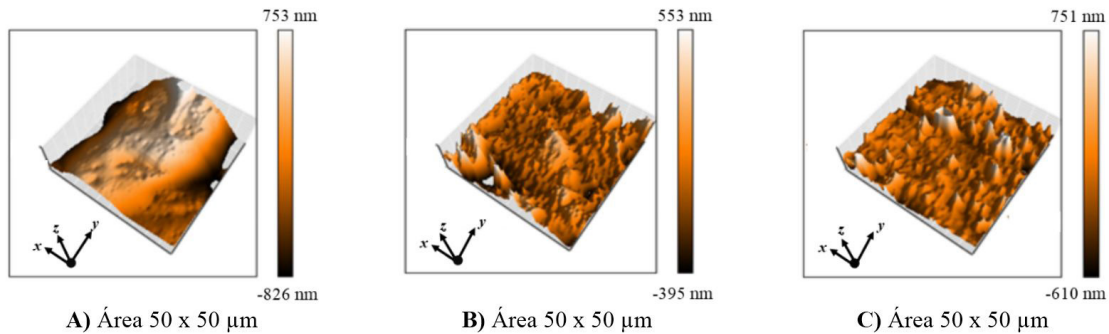


Figura 5. Análisis estructural mediante microscopia de fuerza atómica de muestras de azúcar blanca de empaques de 5 g procedente de diferentes procedencias. A) Procedencia 1, B) Procedencia 2, C) Procedencia 3.

Fuente: Los autores.

En cuanto al nivel de estabilidad estructural que presentaron las muestras de azúcar, se observó que la velocidad de cristalización define la estabilidad de la estructura cristalina. Entre más lento es el proceso de cristalización, la estructura conforma capas más uniformes y estables, mostrando una menor separación entre los muestreos realizados por el equipo para una misma capa, como se muestra en la figura 6. Muestras de azúcar procesadas mediante cristalización rápida mostraron un comportamiento de separación más pronunciado entre capas como se muestra en la figura 6B concordante con la mayoría de las muestras de las marcas evaluadas en este estudio; lo cual representa que la inestabilidad estructural de los cristales y su consecuente tamaño puede ocasionarse a acelerada formación de los cristales durante su formación.

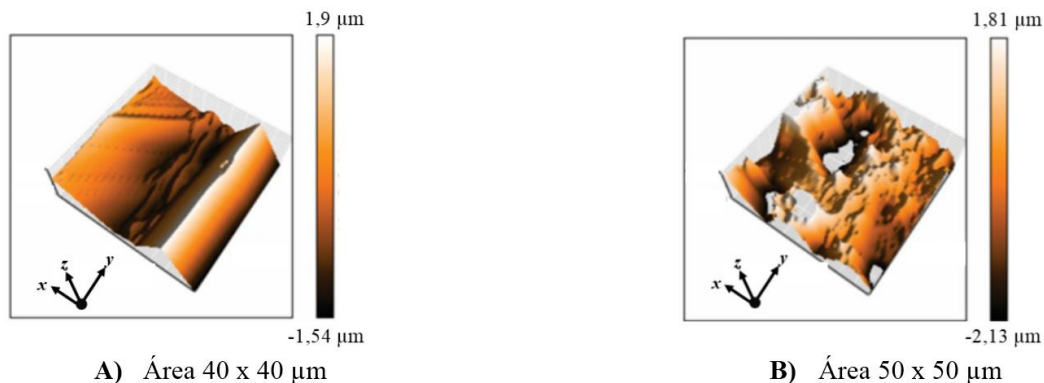


Figura 6. Representación tridimensional de la estructura de cristal de azúcar conformado mediante cristalización: A) lenta, B) Rápida.

Fuente: Los autores.

Conclusiones

El análisis por DOM no ofreció parámetros claros para evaluar el nivel de calidad del azúcar en relación a su conformación o proceso de elaboración. Sin embargo, el análisis mediante AFM mostró que la velocidad de cristalización es decisiva en la calidad y el tamaño del cristal a obtener. A medida que se reduce la velocidad de cristalización se incrementa la calidad y el tamaño del cristal a obtener; sin embargo, esto afecta de forma directa el tiempo de proceso a nivel industrial. Además, las presentaciones de azúcar en empaques de 500 g mostraron una menor cantidad de irregularidades superficiales, en relación a presentaciones de azúcar personales, demostrando que existe una relación inversa no solo entre el tamaño del cristal y su estructura superficial, sino también con la calidad que se dispone para estas presentaciones. Mientras que en el caso de las presentaciones de azúcar morena se logró observar que existió mayor cantidad de incrustaciones minerales en la superficie y dentro de los cristales, sin embargo, este fenómeno no alteró el proceso de ordenamiento de las capas de sacarosa y por ende el tamaño final del cristal de azúcar.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento aportado por SENNOVA y el Centro sur colombiano de Logística internacional del Sena Ipiales en la financiación del proyecto ejecutado SGPS-4121-2018.

Referencias

- Chen, Y., Cai, J., Zhao, T., Wang, C., Dong, S., Luo, S., y Chen, ZW (2005). Atomic force microscopy imaging and 3-D reconstructions of serial thin sections of a single cell and its interior structures. *Ultramicroscopy*, 103(3), 173-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2004.11.019>
- Fan, F., y Roos, Y. H. (2016). Crystallization and structural relaxation times in structural strength analysis of amorphous sugar/whey protein systems. *Food hydrocolloids*, 60, 85-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.019>
- Fishman, M. L., y Cooke, P. H. (2009). The structure of high-methoxyl sugar acid gels of citrus pectin as determined by AFM. *Carbohydrate research*, 344(14), 1792-1797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2008.09.031>
- Gao, Z., Rohani, S., Gong, J., y Wang, J. (2017). Recent Developments in the Crystallization Process: Toward the Pharmaceutical Industry. *Engineering*, 3(3), 343-353. doi: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.022>
- Geankoplis, C. J. (2006). Procesos de transporte y principios de procesos de separación. 4a. edición, México, Grupo Patria Cultural, 62-64.
- Ma, C. Y., Liu, J. J., y Wang, X. Z. (2016). Measurement, modelling, and closed-loop control of crystal shape distribution: Literature review and future perspectives. *Particuology*, 26, 1-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2015.09.014>
- Nagy, Z. K., Fevotte, G., Kramer, H., & Simon, L. L. (2013). Recent advances in the monitoring, modelling and control of crystallization systems. *Chemical Engineering Research and Design*, 91(10), 1903-1922. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.07.018>
- Obiols R., M., Oncins, G., Sanz, F., Tadros, T. F., Solans, C., Leveck, B., Esquena, J. (2017). Investigation of the elastic and adhesion properties of adsorbed hydrophobically modified inulin films on latex particles using Atomic Force Microscopy (AFM). *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 524, 185-192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.04.048>
- Ozkan, A. D., Topal, A. E., Dikecoglu, F. B., Guler, M. O., Dana, A., y Tekinay, A. B. (2017). Probe microscopy methods and applications in imaging of biological materials. *Seminars in cell & developmental biology*. Academic Press.
- Uchihashi, T., Watanabe, H., Fukuda, S., Shibata, M., y Ando, T. (2016). Functional extension of high-speed AFM for wider biological applications. *Ultramicroscopy*, 160, 182-196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2015.10.017>
- Velazquez, C. O., Bolaños-Reynoso, E., Rodríguez, E., y Álvarez-Ramírez, J. (2010). Characterization of cane sugar crystallization using image fractal analysis. *Journal of food engineering*, 100(1), 77-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.030>
- Zhang, R., Ma, C. Y., Liu, J. J., y Wang, X. Z. (2015). On-line measurement of the real size and shape of crystals in stirred tank crystalliser using non-invasive stereo vision imaging. *Chemical Engineering Science*, 137, 9-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.05.053>



Mejoramiento de las propiedades mecánicas de un bioplástico a base de almidón mediante la adición de TiO_2

Improvement of the mechanical properties of a bioplastic based on starch by the addition of TiO_2

Modalidad: Póster

Lina Herrera¹
Leidy Carreño²
Edwing Velasco³

¹ Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ, Grupo de Investigación GIADAI, Km 12 vía Bucaramanga, Barrancabermeja, Colombia. linah2130@gmail.com

² Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ, Grupo de Investigación GIADAI, Km 12 vía Bucaramanga, Barrancabermeja, Colombia. leydi.carreno@unipaz.edu.co

³ Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ, Grupo de Investigación GREIP, Km 12 vía Bucaramanga, Barrancabermeja, Colombia. edwin.velasco@unipaz.edu.co

Resumen

La meta de este trabajo fue el mejoramiento de las propiedades mecánicas de un bioplástico a base de almidón mediante la adición de dióxido de titanio (TiO_2). Los materiales se sintetizaron por mezclado con glicerol y agua a 70 °C bajo condiciones de agitación constante, y se moldearon naturalmente en cajas Petri hasta obtener láminas. La caracterización se realizó por análisis de perfil de textura para determinar sus propiedades mecánicas, espectroscopía infrarroja para determinar sus grupos funcionales y absorción de agua para evaluar su permeabilidad. Se determinó que el uso de TiO_2 mejora la resistencia mecánica y el módulo de elasticidad en un 30 y 17 %, respectivamente, y disminuye su capacidad de absorción de agua en un 40 %. Esta modificación en el comportamiento puede estar relacionada con la naturaleza hidrofóbica del TiO_2 .

Palabras claves: *biopolímeros, polisacáridos, resistencia mecánica, absorción de agua.*

Introducción

Los bioplásticos son matrices poliméricas que pueden poseer las mismas características de resistencia mecánica, inerticidad y permeabilidad que los plásticos, pero además tienen la capacidad de degradarse rápidamente, evitando así su acumulación. Estos pueden ser sintetizados a partir de diferentes sustratos como proteínas (colágeno, queratina, gelatina, gluten de maíz o de trigo, proteínas de leche o de soya), polisacáridos (almidón, derivados de celulosa, quitosano, alginatos, carragenatos y pectinas) y lípidos (ceras, ácidos grasos y monoglicéridos) (Pathak, Sneha, y Mathew, 2014). Dependiendo del sustrato se pueden obtener diferentes propiedades plásticas o elásticas, no obstante, existe un acentuado interés en la comunidad científica por el uso de polisacáridos como el almidón, ya que su biodisponibilidad es considerablemente superior a la de sus homólogos, y por tanto su accesibilidad. Se ha reportado que las películas a base de almidón exhiben propiedades físicas similares a las películas de polímeros sintéticos; son transparentes, no tienen olor ni sabor, son semipermeables al dióxido de carbono y resistentes a la transmisión de oxígeno. Además, son biodegradables, con una buena disponibilidad y bajo costo (Lucas *et al.*, 2008). No obstante, en la actualidad, las propiedades físicas de los bioplásticos no satisfacen los requerimientos de la industria. Por esta razón, el sector agroindustrial dedicado al desarrollo de nuevos materiales para

empaques se ha enfocado en la búsqueda de aditivos que permitan mejorar las propiedades mecánicas. En este sentido, el objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la adición de TiO_2 sobre las propiedades mecánicas e hidrofobicidad de un bioplástico a base de almidón, para su potencial uso en el área de empaques en el sector agroalimentario.

Materiales y Métodos

Síntesis de biopolímeros

Inicialmente se realizó una mezcla de 10 g de almidón comercial (Laboratorios León), 5 g de glicerol (Merck), 85 mL de agua destilada y 3 g de TiO_2 (P25-Evonik) en un vaso precipitado de 250 mL. Esta mezcla se calentó hasta su gelatinización (80 °C por 60 min) bajo condiciones de agitación constante (200 rpm) utilizando una plancha de calentamiento y agitación (Thermo). Luego, al gel resultante se vertió en cajas Petri de vidrio de 10 cm de diámetro y luego se secó a 70 °C durante 4 h utilizando un horno de secado por convección forzada (Binder). Finalmente, las muestras de biopolímero se almacenaron en un desecador. El anterior procedimiento fue adaptado del reportado por Guevara, Velasco, y Rincón (2017).

Caracterizaciones

La absorción de agua será calculada como la diferencia en el peso de las muestras poliméricas antes y después de ser remojadas en agua. Las propiedades mecánicas de las muestras poliméricas se determinaron mediante pruebas de tensión hasta el rompimiento utilizando un analizador de textura TA-TX Plus, Stable Micro Systems, dotado con una celda de carga de 5 kg. Para esto, muestras poliméricas de 1 x 10 cm se elongaron a lo largo con velocidades pre-test de 2 mm/s, test de 1 mm/s y post-test de 5 mm/s. El esfuerzo se determinó como la fuerza de tensión dividida en el área transversal de las muestras de polímero. La elongación se determinó como la deformación dividida en la longitud inicial de la muestra. Las muestras poliméricas fueron analizadas por espectroscopía infrarrojo (FTIR) utilizando un espectrómetro Shimadzu. Para la prueba, una muestra de 1cm x 1cm se fue atravesada por el haz de luz IR. Los datos fueron analizados con el software IR-Affinity.

Resultados y discusiones

En el análisis FTIR (Figura 1a) se observa una gran banda entre 400 y 900 cm^{-1} que puede estar asociada con la presencia de TiO_2 y una región de pequeños picos entre 900 y 1500 cm^{-1} , los cuales son característicos de los polisacáridos y proceden de las deformaciones de tensión del C–O–C y a flexión del OH, ya que la estructura del almidón presenta interacciones C–O con diferente ambiente químico (C–O–C, CH_2OH y COH). Adicionalmente, en el espectro se encuentra un pico a 2380 cm^{-1} correspondiente CO_2 adsorbido y una banda entre 3000 y 3400 cm^{-1} relacionados con las vibraciones del grupo OH provenientes de grupos alcohol o agua adsorbida. Todos los picos observados están asociados tanto al aditivo como a la estructura de la amilosa y amilopectina. En la Figura 1b se presenta el análisis de textura de los materiales poliméricos. Se observa que el perfil generado en todos los casos presenta una forma creciente correspondiente al estiramiento del material polimérico y un decrecimiento abrupto atribuido a la ruptura de las muestras; de acuerdo con Ashok, Abhijith, y Rejeesh (2018), este comportamiento se atribuye a materiales plásticos. Se observa que la incorporación de TiO_2 en la matriz polimérica de almidón mejora su resistencia a la tensión y su capacidad de elongación o deformación. Estos resultados son similares a los reportados por Oleyaei, Zahedi, Ghanbarzadeh, y Moayedi (2016). De acuerdo con estos autores el incremento en la resistencia de los materiales puede ser debido al mejoramiento de las interacciones al interior de la red polimérica mediante el establecimiento de enlaces covalentes y puentes de hidrógeno entre el TiO_2 y las moléculas de almidón.

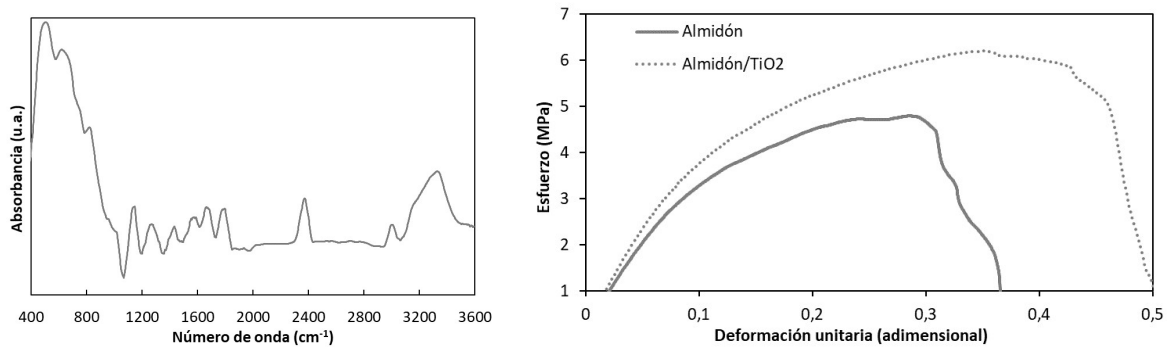


Figura. 1. Análisis (a) FTIR del bioplástico a base de almidón y TiO_2 y (b) esfuerzo de tensión de las muestras de bioplástico a partir de almidón únicamente y de la mezcla de almidón y TiO_2

Fuente: Los autores

En la Tabla 1 se presenta la comparación de la resistencia mecánica y absorción de agua de los polímeros obtenidos en este trabajo frente a otros reportados. Se observa que la adición de TiO_2 mejora la resistencia mecánica de los materiales a base de almidón, tanto de este como otros trabajos. Las comparaciones presentadas en la Tabla 1 dejan entrever la cercanía que existe entre las propiedades mecánicas de los bioplásticos (especialmente los obtenidos en este trabajo) y los plásticos sintéticos convencionales. Si estos resultados se extrapolan al sector industrial, tal evidencia adquiere un carácter más valioso puesto que los bioplásticos son de origen natural, renovables y cero contaminantes, en efecto, el costo ambiental y energético de su procesamiento disminuyen dramáticamente

Tabla 1. Comparación de propiedades mecánicas de materiales bioplásticos y plásticos.

Material	Esfuerzo de tensión (Mpa)	Absorción de agua (%)	FUENTE
Almidón	4,79	46	Este trabajo
Almidón/ TiO_2	6,19	26	Este trabajo
Bioplástico de almidón	4,42	14,9	(Ghanbarzadeh, Almasi, y Oleyaei, 2014)
Bioplástico de almidón	2,66	28,08	(Oleyaei <i>et al.</i> , 2016)
Polipropileno	37,3	-	(Ashok <i>et al.</i> , 2018)
PTFE	18,7	<0,01	(Ashok <i>et al.</i> , 2018)
PVC (Polivinilcloruro)	51,7	0,06	(Ashok <i>et al.</i> , 2018)

Fuente: Los autores

Conclusiones

Una ruta económica y sencilla para la obtención de materiales bioplásticos a partir de almidón, es mediante su polimerización en presencia de glicerol y agua. En este trabajo se demostró que el uso de TiO_2 como aditivos durante la polimerización mejora tanto la resistencia mecánica (30 %) como la permeabilidad del material (43 %). Estas modificaciones en el comportamiento de los bioplásticos son atribuibles al mejoramiento en la reticulación de la matriz polimérica debido a la formación de uniones o entrecruzamientos entre los aditivos y las cadenas de almidón. Los bioplásticos desarrollados en este y otros trabajos en comparación con los plásticos convencionales a base de petróleo exhiben una relación de resistencia mecánica aproximada de 1 a 10, lo que pone a los materiales basados en biomasa muy cerca de los requerimientos mecánicos del sector industrial productor de plástico.

Referencias

- Ashok, A., Abhijith, R. y Rejeesh, C.R. (2018). Material characterization of starch derived bio degradable plastics and its mechanical property estimation. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2163–2170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.214>
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. y Oleyaei S. (2014). A Novel Modified Starch/Carboxymethyl Cellulose/Montmorillonite Bionanocomposite Film: Structural and Physical Properties. *International Journal of Food Engineering*, 10(1), 121–130.
- Guevara, C., Velasco, E. y Rincón J. (2017). Síntesis de bioplásticos a partir de almidón de yuca y ñame como alternativa a los plásticos comunes. *III Simposio de materiales poliméricos*. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (3: 30 agosto-1 septiembre, 2017: Cali, Colombia). Cali: p. 129-131.
- Lucas, N., Bienaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F., y Nava-Saucedo, J. E. (2008). Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques – a review. *Chemosphere*, 73(4), 429–442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.064>
- Oleyaei, S. A., Zahedi, Y., Ghanbarzadeh, B., y Moayedi, A. A. (2016). Modification of physicochemical and thermal properties of starch films by incorporation of TiO₂ nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 89, 256-264. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.078>
- Pathak, S., Sneha, C.L.R. & Mathew, B.B. (2014). Bioplastics: its timeline-based scenario & challenges. *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry*, 2(4), 84–90.



Elaboración de bloques de concreto con agregados plásticos reciclados

Development of concrete blocks with recycled plastic aggregates

Modalidad: Póster

María Bernarda Alvarado Bawab¹
Shirly Vega²
Jorge Marín³

¹ Institución Universitaria ITSA, grupo de investigación en Procesos Industriales y Energías Renovables, Cra. 45 No 48 - 31, Barranquilla, Colombia. mbalvarado@itsa.edu.co

² Institución Universitaria ITSA, grupo de investigación en Procesos Industriales y Energías Renovables, Cra. 45 No 48 - 31, Barranquilla, Colombia.

³ Institución Universitaria ITSA, grupo de investigación en Procesos Industriales y Energías Renovables, Cra. 45 No 48 - 31, Barranquilla, Colombia.

Resumen

Este proyecto evalúa la resistencia a la compresión de bloques de concreto al sustituir arena por plásticos reciclados mecánicamente en la fabricación de bloques de concreto de acuerdo a la 4026. Se construyeron bloques con agregados de Polipropileno - PP, polietileno de alta densidad - PEAD, polietileno de baja densidad - PEBD y polvillo que es un residuo de la industria de reciclaje. La máxima proporción de agregación en el PEAD es del 16%, PEBD es del 8%, del PP es del 20% y del polvillo es del 12%. Se encontró que solo el PP y el PEBD agregado en un 5% supera el fraguado a los 28 días. Además, la resistencia a la compresión solo alcanza los $2 \pm 0,3$ MPa.

Palabras claves: Bloques, Plástico reciclado, Polietileno de alta densidad, Polietileno de baja densidad, Polipropileno.

Introducción

El empleo de bloques de concreto con agregados plásticos en obras de ingeniería en países desarrollados ha alcanzado una importante expansión tanto en calidad como en la variedad de usos que ofrece. En Colombia, las investigaciones se basan en la utilización del polietileno (PE), Tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), para la construcción de bloques ya son los más empleados en la industria ya que su agregación modifica ciertas propiedades físicas y mecánicas como peso en las estructuras fabricadas (García, Bracho, y López, 2017), aumento en la resistencia a la compresión y proporcionar aislamiento térmico y acústico. De acuerdo a los estudios previos realizados, se construyó la tabla 1.

Tabla 1. Resistencia a la compresión de bloques con agregados plásticos.

Material	Forma	% agregado	Resistencia a la compresión	Autor
PP	Fibras		Incremento del 67%	(Acosta, y L. Benitez, 2014)
PET	Escama	12,5, 25 y 37,5%	con 12,5% 3,46 MPa	(Caballero y Florez, 2016)
	Escama	27%	2 MPa	(García <i>et al.</i> , 2017)
	2 mm		1,45 - 2,18 MPa	(Giraldo y Prieto, 2015)
	5 mm	40 - 20%	<3,71 MPa	

Fuente: Los autores

La tabla anterior evidencia que aun cuando es posible elaborar los bloques huecos de concreto estos no alcanzan la resistencia a la compresión de 7 MPa requerida por la norma NTC 4026. Con base en los hallazgos previos, este proyecto busca evaluar la resistencia a la compresión de bloques de concreto con agregados de plástico reciclado de PP, PEAD, PEBD y un polvillo residuo del reciclaje en la industria.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo del proyecto, se construyó un diseño de experimentos de comparación simple empleando 4 diferentes materiales en dos proporciones diferentes (12 y 20%) satisfactoria en otros estudios reportados (Garcia *et al.*, 2017), para el desarrollo de las corridas experimentales se empleó cemento gris marca comercial, arena del municipio de Juan De Acosta – Atlántico, agua, Polipropileno, Polietileno de Alta Densidad, Polietileno de Baja Densidad y Polvillo con distribuciones de tamaño entre 2 y 5 mm. Las pruebas se realizaron en una empresa fabricante de bloques del municipio de Juan de Acosta siguiendo sus protocolos de procesamiento.

El procedimiento consiste en realizar la operación de pesado y mezclado de cada uno de los componentes para luego introducir y compactar en la maquina vibro compactadora limpia y seca previamente, posteriormente desmoldar los bloques y ubicar al sol. Las pruebas de resistencia se realizaron de acuerdo a la norma NTC 4024 en un laboratorio certificado a los 28 días de elaboración.

Resultados y discusiones

Durante la realización de los bloques se vio la necesidad de hacer reproceso debido a fallas en el desmolde, los bloques elaborados fueron de volumen de 390x180x140 mm³ siendo el espesor de cada una de las paredes de 25 mm. Los resultados obtenidos de ensayos a compresión de los especímenes, se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de ensayos a compresión en bloques de concreto con agregados plásticos

Plástico	% agregado	No. Reprocesos	Densidad (kg/m ³)	Resistencia (MPa)
PEAD Escama	20	2	N/A	N/A
	16	2	N/A	N/A
	12	2	1571	N/A
PEBD (Amorfa)	20	3	N/A	N/A
	16	3	N/A	N/A
	8	1	N/A	N/A
	5	1	1863	2,3
PP (Esférica)	20	1	1625	2,24
	12	1	1778	1,98
Polvillo (polvo)	25	1	N/A	N/A
	12	1	N/A	N/A

Fuente: Los autores



Se encontró que los bloques realizados con PEAD (Escama) y el polvillo no sobrepasaron la etapa de curado, presentando fractura estructural por lo cual no fue posible medir la resistencia a la compresión. Aunque fue posible realizar bloques de concreto con agregados plásticos reciclado, es necesario seguir explorando las variables de geometría, tamaño de los pellets y la cantidad agregada con miras a alcanzar la resistencia estándar de 7 MPa (NTC 4026) para cada uno de los tipos de plástico. La resistencia a la compresión para los tres tipos de bloques satisfactorios presentó valores iguales de $2\pm 0,3$ MPa.

Hay una tendencia a que las pruebas que tuvieron éxito al pasar una sola vez por la vibro-compactadora, lograron superar la etapa de curado. Como sucedió con el PP a 20 y 12% y, el PEDB a 5%.

La temperatura, la exposición a los rayos del sol, el viento y la humedad relativa son factores externos que se deben tener en cuenta, ya que pueden afectar la resistencia del concreto (Caballero y Florez., 2016).

Conclusiones

Con la ejecución de este proyecto se concluyó que, si es posible realizar bloques de concreto con agregados plásticos reciclado. La máxima resistencia a la compresión alcanzada fue $2\pm 0,3$ MPa, se encontró que para el PP si es posible realizar bloques entre 20 y 12% de agregado, para el PEDB solo es posible con agregados de 5% y para el polvillo y PEAD no es posible realizar bloques agregando entre 20 y 12%. La forma y granulometría en la que se encuentra el plástico reciclado puede ser un ruido no controlado en los experimentos, esto influye en la cantidad que se agrega en el bloque a fabricar y debe ser estudiado en trabajos futuros.

Referencias

- Acosta, L. y Benitez, J. (2014). *Análisis Comparativo de La Resistencia a Compresión de Los Bloques Huecos de Concreto Con Anime*. (Tesis doctoral). Universidad de Nueva Esparta. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/343178482/Analisis-Co-MParativo-de-La-Resistencia-a-Compresion-de-Los-Bloques-Huecos-de-Concreto-Con-Anime>
- Caballero, B., Florez, O., y Alvarez, J. (2017). *Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción*. (Tesis doctoral). Universidad de Cartagena, Colombia. Recuperado de: <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/4404>
- García, S., Bracho, N., y López, W. (2017, May). Estudio del efecto de la adición de residuos plásticos en la fabricación de bloques huecos de concreto. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 57, 55–59.
- Giraldo, M., y Prieto, O. (2015). *Determinación de las propiedades mecánicas de una unidad de mampostería en bloque, elaborado en mortero según la norma NTC 4024 combinado con PET triturado*. (Informe Técnico de trabajo de grado). Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Recuperado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16846>

Desarrollo de una dispersión polimérica acrílica estirenada elatomérica

Development of concrete blocks with recycled plastic aggregates

Modalidad: Comunicación oral

Alejandro Lozano Bohorquez¹
Camilo Augusto Ramírez López²
Cristian Camilo Villa³
Gustavo Correa⁴

¹ GLOBAL LATICES SAS, Grupo de Investigación en Polímeros y Pinturas. Zona Franca del Quindío. Armenia Quindío, Colombia.

² GLOBAL LATICES SAS, Grupo de Investigación en Polímeros y Pinturas, Director Técnico. Zona Franca del Quindío. Armenia Quindío, Colombia.

³ UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO. Carrera 15 Calle 12 Norte. Armenia Quindío, Colombia.

⁴ AQUATERRA SAS, Gerente de Negocios. Bogotá Colombia.

Resumen

En este trabajo se desarrolló una dispersión polimérica acrílica estirenada con propiedades elastoméricas, obtenidos por polimerización en emulsión semicontinua, usando monómeros acrílicos como 2-etilhexil acrilato, Butil acrilato, metil metacrilato y estireno, con el objetivo de evaluar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del copolímero obtenido, al modificar concentraciones de iniciador, monómeros reticulantes y temperaturas de transición vítrea. Se encontró, que las dispersiones elaboradas con Tg de Fox de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, presenta los mejores resultados fisicoquímicos y de comportamiento elastomérico en los ensayos de tensión-deformación, especialmente para la muestra 11, obtenida a una concentración de iniciador del 0.3% y monómeros entrecruzantes del 1%, el cual deja abierta la posibilidad de ser una matriz ligante para la fabricación de masillas Joint Compound.

Palabras claves: Estireno acrílico elastomérico, Polimerización en emulsión.

Introducción

Las dispersiones para recubrimientos elastoméricas tienen actualmente un mercado amplio e importante, ya que, dadas sus características las hacen de gran interés en el acabado y la rehabilitación de fachadas deterioradas, debido a que tienen la facilidad de absorber parte del movimiento de la pared sin que en esta se generen grietas que dañen la estética de la misma, así como, evite la entrada de agua y el deterioro final del acabado. Dentro del abanico de familias de productos fabricados, las emulsiones acrílicas estirenadas es uno de los mercados más amplios e importante, debido a que son la base para la formulación de pinturas y otros tipos de recubrimientos. Estos productos gozan de alta aceptación en el mercado, pero se quedan cortos en cuanto a oferta de prestaciones establecidas para diferentes usuarios y aplicaciones, por lo que es de gran importancia para el mercado, el desarrollo de productos acrílicos estirenados elastoméricos, ajustados a las necesidades y condiciones de uso del cliente y el usuario final.

En el mercado colombiano existen algunos productos con características elastoméricas, pero estos productos principalmente se han basado en formulaciones de muy baja Tg y no estructurados como elastómero real, en el sentido de contar con eslabones en las cadenas poliméricas que generen una estructura de un retículo. Lo que deriva en un mayor grado de fluencia y en la necesidad de hacer mezclas con otras dispersiones poliméricas de mayor Tg, para lograr una baja tactocidad modulando también la elongación y elasticidad principalmente debido a efectos de gel. En respuesta a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una dispersión acrílica estirenada elastomérica, modulando sus



prestaciones en función de su formulación, así como de las condiciones finales de uso, basado en el know-How desarrollado por Global Latices SAS.

Materiales y Métodos

Copolimerización de la dispersión acrílica estirenada

Para dar inicio a una etapa de semillado, en un reactor de polimerización de 2 L, se agregó una mezcla de surfactante no iónico y aniónico, persulfato de sodio y antiespumante, los cuales se agitaron a 250 rpm y a 82 °C, luego, se adicionó el 7% de una pre-emulsión de monómeros como estireno, 2-etil hexil acrilato, Butil acrilato, ácido metacrílico entre otros. Una vez alcanzada la temperatura, se terminó de agregar en paralelo el resto de la pre-emulsión y persulfato de sodio durante un tiempo de 4 horas. Pasado el tiempo de dosificación, se mantuvo agitación por 20 min más a 80 °C agregando en paralelo persulfato de sodio y metabisulfito de sodio y posteriormente se realizó un ajuste de pH con amoníaco y se adicionó biocida, para finalmente dejar enfriar la dispersión.

Caracterización

Las dispersiones fueron caracterizadas mediante ensayos de estabilidad globular, tamaño de partícula, porcentaje de sólidos totales, viscosidad, porcentaje de absorción de agua y adhesión a sustratos. Además, mediante DSC se determinaron las temperaturas de transición vítrea, así como también, se evaluó el comportamiento mecánico mediante ensayos de tensión deformación en un equipo universal de ensayos.

Diseño experimental

Se desarrollaron dispersiones con temperaturas de transición vítrea teóricas de -30, -10 y -4 °C, usando concentraciones de persulfato de sodio (SPS) de 0,3% y 0,6% en peso respecto a monómero, con una mezcla de monómeros acrílicos como entrecruzantes a concentraciones de 0,5% y 1% en peso respectivamente. Donde el tratamiento estadístico de los resultados fue realizado mediante un análisis multifactorial y de regresión

Resultados y discusiones

Cuando las dispersiones poliméricas no tienen la suficiente estabilidad coloidal, esto se refleja en diferentes aspectos tanto en el proceso de fabricación de las dispersiones como en la formulación de productos derivados y en el uso final. Donde los problemas de estabilidad en los sistemas de polimerización en emulsión están dados por pérdida de la barrera de surfactantes que protegen a las partículas poliméricas en la dispersión formada los cuales pueden obedecer a diferentes factores, tales como: adición de cargas minerales, cambios en el pH, adición de floculantes y grandes esfuerzos de cizalla, siendo el potencial Z, la medida de la estabilidad estas de las partículas. Los resultados presentados en la **Tabla 1**, indican que, de todas las dispersiones preparadas se debe esperar una buena estabilidad globular, debido a que su carga se encuentra por debajo de -30 mV y en un caso levemente por debajo.

Tabla 1. Resultados obtenidos en la medida de las propiedades fisicoquímicas para cada dispersión sintetizada.

Muestras	Tg de Fox (°C)	Entrecruzante (%)	SPS (%)	A.A (%) 24 h	Tg experi- mental °C	Adhesión N/ cm ²	Pz (mV)
1	-30	0,5	0,3	4,19 ±0,2	-20,1	0,602 ± 0,11	-40,8 ±0,3
2	-30	0,5	0,6	2,89 ±0,5	-17,6	0,483 ± 0,004	-41,6 ±0,5
3	-30	1,0	0,3	4,97 ±0,4	-20,2	0,523 ± 0,12	-36,1 ±0,3
4	-30	1,0	0,6	5,20 ±0,5	-18,2	0,746 ± 0,07	-37,9 ±1,7
5	-10	0,5	0,3	3,99 ±0,2	5,1	0,763 ± 0,02	-35,8 ±0,9
6	-10	0,5	0,6	4,87 ±0,4	1,6	0,985 ± 0,11	-41,1 ±2,5
7	-10	1,0	0,3	5,10 ±0,3	3,2	0,752 ± 0,14	-27,6 ±4,0
8	-10	1,0	0,6	5,21 ±0,5	4,8	1,035 ± 0,04	-35,3 ±3,7
9	-4	0,5	0,3	3,68 ±0,2	11	0,928 ± 0,10	-50,3 ±1,4
10	-4	0,5	0,6	3,74 ±0,1	11,1	1,056 ± 0,12	-54,6 ±1,4
11	-4	1,0	0,3	3,09 ±0,4	11,3	1,126 ± 0,02	-54,4 ±2,5
12	-4	1,0	0,6	5,13 ±0,2	10,8	0,977 ±0,02	-43,7 ±3,0

η: Viscosidad; Tp: Tamaño de partícula; Pz: Potencial Z.

Fuente: Los autores

Un porcentaje alto de absorción de agua está dado en parte, por el contenido de monómeros polares presentes en su composición (Reyes-Mercado, Vázquez, Rodríguez-Gomez, y Duda, 2008), así como el contenido de productos solubles en agua como los surfactantes (Harvey y Carlson, 2010). Los porcentajes de agua según la **tabla 1**, apenas superan el 5% para algunas muestras, mientras que otras dispersiones, tienen valores cercanos a 3%, los cuales están dentro del rango para este tipo de productos según las normas NTC 1772 y ASTM D570-98.

Entre las distintas dispersiones preparadas se obtuvieron tamaños de partículas en un rango de 95 a 116 nm predominando en este tipo de dispersiones un sistema polimodal. Sin embargo, algunos gráficos de distribución del tamaño presentaron un semi hombro, el cual permitió inferir para algunas dispersiones, la existencia de un sistema bimodal, los cuales son responsables de los índices de viscosidad tan bajos para algunas muestras (menores a 300 cPs), siendo este tipo de sistemas los principales responsables de la variación de los valores de viscosidad en los procesos de producción de este tipo de dispersiones (Moayed, Fatemi, y Pourmahdian, 2007).

La adhesión a sustrato por su parte, se debe básicamente a un fenómeno físico por anclaje o difusión de los polímeros, y químico por adsorción termodinámica sumado a fuerzas de Van der Waals e interacciones electrostáticas (Madrid, 1990). Los resultados de la **tabla 1**, dan cuenta de la influencia de la Tg de Fox sobre la fuerza máxima realizada por unidad de área, para el desprendimiento de la cinta papel para juntas. Donde se pudo evidenciar que entre mayor es la Tg de Fox (-4°C), mayor es la adherencia de la dispersión sobre la cinta papel.

En la **tabla 1**, se puede observar la diferencia entre las temperaturas de transición vítrea teóricas y experimentales, aunque las temperaturas calculadas con la ecuación de Fox son solo una aproximación, esto no significa que deba ser igual, debido a que la variación de la Tg se debe a fenómenos físicos y químicos (Flores *et al.*, 2011; Spence y Ford, 1998), siendo, por ejemplo, la velocidad de reacción una de ellas, ya que se generan microdominios donde la polimerización no ocurre de forma alternada como se esperaría dada la polaridad de los monómeros, si no que por lo contrario, ocurre en bloques, generando dominios duros y blandos.

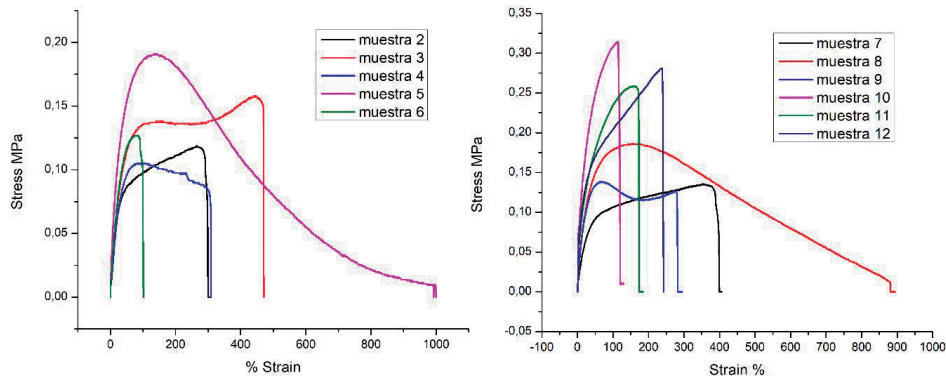


Figura 1. Comportamiento mecánico del esfuerzo - deformación aplicado a cada muestra.

Fuente: Los autores.

Respecto a los ensayos mecánicos, el comportamiento más viscoelástico se puede evidenciar en las muestras 1 y 12, y una tendencia menos viscoelástica para las demás muestras, donde el ensayo 1 tiene una mayor tendencia al comportamiento elastomérico respecto al demás ensayos, con una mayor resistencia a la tracción y mayor una zona de fluencia respecto a la muestra 12. Sin embargo, las concentraciones de monómeros entrecruzantes y temperatura de transición vítrea son diferentes para estos dos ensayos, por tanto, estas influyeron significativamente frente a las propiedades mecánicas en cada muestra obtenida.

Conclusiones

Se lograron obtener dispersiones con buena estabilidad coloidal, porcentajes de absorción de agua, tamaños de partículas, viscosidad, adhesión a sustratos y comportamiento elastomérico en los ensayos de tensión-deformación, especialmente para la muestra 11, obtenida a una concentración de iniciador del 0.3% y monómeros entrecruzantes del 1%, el cual deja abierta la posibilidad de ser una matriz ligante para la fabricación de masillas para Joint Compound.

Agradecimientos: A la Universidad del Quindío y la empresa de Global Latices SAS, donde en este último, se desarrolló el proyecto.

Referencias

- Flores, J., Corona, M., Moscoso, F., Oseguera, O., Manríquez, R., López, F., y Mendizábal, E. (2011). Poly (Methyl Methacrylate) With High Syndiotactic Content Obtained by Microemulsion Polymerization Using Different Surfactants. *Mexican Chemical Engineering Magazine*, 10, 125–135pp.
- Harvey, S., y Carlson, G. (2010). Aspects of latex particle size control for improved water blush resistance. *Ashland Speciality Chemical Company*, 101–111pp.
- Madrid, M. (1990). Tecnología de la adhesión. *Departamento Técnico de Loctite*. España.
- Moayed, S. H., Fatemi, S., y Pourmahdian, S. (2007). Synthesis of a latex with bimodal particle size distribution for coating applications using acrylic monomers. *Progress in Organic Coatings*, 60(4), 312–319pp. doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2007.07.023>

Reyes-Mercado, Y., Vázquez, F., Rodríguez-Gomez, F. J., y Duda, Y. (2008). Effect of the acrylic acid content on the permeability and water uptake of poly (styrene-co-butyl acrylate) latex films. *Colloid & Polymer Science*, 286(5), 16pp. doi: <https://doi.org/10.1007/s00396-008-1838-6>

Spence, C, P., y Ford T, W. (1998). Structures and Properties of Poly (methyl methacrylate) Latexes Formed in Microemulsions. *Macromolecules*,31,3454–3460pp.