

ISSN 2410-3950

Volumen 2, Número 2 – Enero – Marzo -2015

Revista de Sistemas Experimentales

ECORFAN[®]

Bases de datos

Google scholar.



ECORFAN®

ECORFAN-Bolivia

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María, PhD.

Director Regional

SERRUDO-GONZALES, Javier, BsC.

Director de la Revista

ESPINOZA-GÓMEZ, Éric, MsC.

Relaciones Institucionales

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando, BsC.

Edición de Logística

DAZA-CORTEZ, Ricardo, BsC.

Diseñador de Edición

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra, BsC.

Revista de Sistemas Experimentales, Volumen 2, Número 2, de Enero a Marzo -2015, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Santa Lucía N-21, Barrio Libertadores, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB:

www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org.
Editora en Jefe: Ramos Escamilla-María, Co-Editor: Serrudo González-Javier. ISSN-2410-3950. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. Escamilla Bouchán-Imelda, Luna Soto-Vladimir, actualizado al 31 de Marzo 2015.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Consejo Editorial

ALEMÓN-MEDINA, Francisco Radamés, PhD.
Instituto Nacional de Pediatría, Mexico

POSADA-GOMEZ, Ruben, PhD.
Institut National Polytechnique de la Lorraine,
Francia

RUIZ-AGUILAR, Graciela, PhD.
Universidad de Guanajuato, Mexico

RANGEL-VILLALOBOS, Hector, PhD.
Universidad de Guadalajara, Mexico

SOTERO-SOLIS, Victor Erasmo, PhD.
Universidad Nacional de la Amazonia Peruana,
Peru

CORTES-SANCHEZ, Alejandro de Jesus, PhD.
Secretaria de Salud, Mexico

HERNANDEZ-MARTÍNEZ, Rufina, PhD.
University of California, USA

PALOS-PIZARRO, Isidro, PhD.
Universidad Autonoma de Tamaulipas, Mexico

Consejo Arbitral

PÉREZ-NERI, Pedro Iván, PhD.
Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía,
Mexico

DE AZEVEDO-JUNIOR, Wladimir Colman, PhD.
Federal University of Mato Grosso, Brazil

PARTIDA-RUVALCABA, Leopoldo, PhD.
Universidad Tecnológica de Culiacan, Mexico

GONZALEZ-TORRIVILLA, Cesar Castor, PhD.
Universidad Central de Venezuela, Venezuela

DE LA FUENTE-SALCIDO, Norma Margarita, PhD.
Universidad Autónoma de Coahuila, Mexico

RAMÍREZ-LEAL, Roberto, PhD.
Universidad Autónoma de Sonora, Mexico

ÁNGELES-CASTRO, Gerardo, PhD.
Instituto Politécnico Nacional, México

PERALTA-FERRIZ, Cecilia, PhD.
Washington State University, U.S.

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Sistemas, Experimentales.

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

En el primer número es presentado el artículo *Incorporación de nanopartículas de SiO₂ no modificadas, como nanorelentos a una matriz poliacrítica* por CASTILLO, Ruben, CAMPILLO, Bernado, ROMO, Ángel, como segundo artículo está *Estudio de la incorporación de nanopartículas inorgánicas en una matriz polimérica* por HERNANDEZ, Mireya, CAMPILLO, Bernardo y ROMO, Ángel, como tercer capítulo está ***Propiedades termo-mecánicas de nanocompuestos poliacríticos-montmorillonita*** por HERNANDEZ, Oscar, CAMPILLO, Bernardo y ROMO, Ángel, como cuarto capítulo está *Producción de biodiesel a partir de microalgas cultivadas en aguas residuales* por CONDE, Carolina, LÓPEZ, Antioco, AGUILAR, Karina y DÍAZ, Luis, como quinto artículo está *Lixiviación de metales pesados (Fe, Cr) utilizando el Lirio Acuático (Eichhomiacrassipes), en aguas residuales* por HERNANDEZ-ROMERO, Israel, ALDANA-MAR, Francisco, RAMIREZ-LEZAMA, Gloria Estefanía, MORALES-CABRERA, Miguel Ángel, RIOS-VELASCO, Lizeth

Contenido

| Artículo | Página |
|--|--------|
| Incorporación de nanopartículas de SiO₂ no modificadas, como nanorellenos a una matriz poliacrítica <i>CASTILLO, Ruben, CAMPILLO, Bernado, ROMO, Angel</i> | 66-70 |
| Estudio de la incorporación de nanopartículas inorgánicas en una matriz polimérica <i>HERNANDEZ, Mireya, CAMPILLO, Bernardo y ROMO, Angel</i> | 71-76 |
| Propiedades termo-mecánicas de nanocompuestos poliacríticos-montmorillonita <i>HERNANDEZ, Oscar, CAMPILLO, Bernardo y ROMO, Angel</i> | 77-81 |
| Producción de biodiesel a partir de microalgas cultivadas en aguas residuales <i>CONDE, Carolina, LÓPEZ, Antioco, AGUILAR, Karina y DÍAZ, Luis</i> | 82-87 |
| Lixiviación de metales pesados (Fe, Cr) utilizando el Lirio Acuático (Eichhorniacrassipes), en aguas residuales <i>HERNANDEZ-ROMERO, Israel, ALDANA-MAR, Francisco, RAMIREZ-LEZAMA, Gloria Estefanía, MORALES-CABRERA, Miguel Ángel y RIOS-VELASCO, Lizeth</i> | 88-93 |
| <i>Instrucciones para Autores</i> | |
| <i>Formato de Originalidad</i> | |
| <i>Formato de Autorización</i> | |

Incorporación de nanopartículas de SiO₂ no modificadas, como nanorellenos a una matriz poliacrítica

CASTILLO, Ruben*†, CAMPILLO, Bernado, ROMO, Angel

Recibido 15 de Enero, 2015; Aceptado 6 de Marzo, 2015

Resumen

La adición de nanopartículas en materiales poliméricos ha cambiado drásticamente las propiedades de los polímeros, generando una nueva clase de materiales compuestos con diferentes propiedades y funcionalidades adicionales. En este trabajo se ha investigado la influencia de la incorporación de nanopartículas inorgánicas; tales como dióxido de silicio (SiO₂), sobre las propiedades en película de una matriz de látex poliacrítico. Las películas de látex fueron obtenidas de una serie de emulsiones sintetizadas mediante polimerización por emulsión, vía radicales libres en medio acuoso. La caracterización fue realizada mediante, calorimetría diferencial de barrido (DSC), reología, Deformación uniaxial, ángulo de contacto y análisis dinámico mecánico (DMA). El análisis de las propiedades térmicas y mecánicas mostró una disminución del módulo de Young y temperatura de transición vítrea T_g en la presencia de SiO₂, como se demuestra por el análisis mecánico dinámico y deformación uniaxial. Por otra parte, las mediciones del ángulo de contacto con agua demostraron aumento significativo en el comportamiento hidrofóbico al incorporar SiO₂. Estos resultados mostraron que las nanopartículas de óxido influyeron en gran medida las propiedades físicas y mecánicas de la matriz poliacrítica.

Polímeros, nanocompuestos, SiO₂

Abstract

The addition of nanoparticles into polymeric materials has changed dramatically the properties of the host polymers, promising a novel class of composite materials with different properties and added functionalities. In the present work we have investigated the influence of the incorporation of inorganic nanoparticles and metal oxides, such as silicon (SiO₂), on film properties of a matrix of polyacrylic latex. The characterization was performed by, differential scanning calorimetry (DSC), rheology, uniaxial deformation, contact angle and dynamic mechanical analysis (DMA). The analysis of the thermal and mechanical properties showed a decrease of Young's modulus and glass transition temperature T_g in the presence of spherical nanoparticles, as demonstrated by the dynamic mechanical analysis and uniaxial tensile analysis. Moreover, water contact angle measurements demonstrated significant increase in hydrophobic behavior when incorporating SiO₂. These results showed that the metallic oxides nanoparticles greatly influenced the physical and mechanical properties of the neat polyacrylic matrix.

Polymer, Nanocomposites, SiO₂

Citación: CASTILLO, Ruben, CAMPILLO, Bernado, ROMO, Angel. Incorporación de nanopartículas de SiO₂ no modificadas, como nanorellenos a una matriz poliacrítica. Revista de Sistemas Experimentales 2015, 2-2: 66-70

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: kstper@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los nanocompuestos Polímeros son materiales obtenidos mediante la dispersión de nanorelleno (nanopartículas) en una matriz polimérica, esto con la finalidad de inducir mejoras en propiedades y cualidades. Hay tres métodos más comunes para la obtención de nanocompuestos poliméricos, el primero es la mezcla en masa fundida (ampliamente usada por la industria, ya que no se requiere ningún disolvente) (ME Romero-Guzmán, 2008) (M.E. Romero-Guzmán, 2011), como segundo método tenemos la polimerización in-situ (Chorng-Shyan, 2008) (Baghdachi, 2007) (M.L. Hernández-Vargas, 2011), y la disolución de disolvente de matriz de polímero y la mezcla con las nanopartículas (Y Chena, 2011) (X Tong, 2002). Actualmente contamos con un amplio gama de nanorellenos utilizados en la generación de nanocompuestos poliméricos, por ejemplo: nanoarcillas, nanotubos de carbono, nano fibras poliméricas electro hiladas, grafenos, y nanopartículas híbridas orgánico-inorgánicos tales como silsesquioxano poliédrico (POSS) (Damien M. Marquis, 2013) (Paul Holister, 2003). El efecto que tienen estas sobre las propiedades de los materiales compuestos depende de su concentración, el tamaño de partícula y forma, tamaño del agregado, características de la superficie. Ahora hay una comprensión más clara de las ventajas que ofrece la inclusión de nanopartículas en una matriz polimérica, el tipo de nanorelleno dictamina las propiedades y beneficios para la matriz polimérica. Por ejemplo, las nanopartículas de alúmina y nanoarcillas pueden inducir resistencia a la llama; las nanopartículas de plata pueden inducir propiedades antibacterianas; nanopartículas de sílice pueden inducir propiedades hidrófobas; nanoarcillas también pueden inducir propiedades de barrera, además de efectos significativos en las propiedades mecánicas de estos materiales compuestos. (Raymond, 2009) (Damien M. Marquis, 2013)

En la presente investigación, se sintetizaron nanocompuestos poliacrílicos, incorporando nanopartículas de SiO₂ como nanorelleno, vía polimerización en emulsión, modo por lotes, es decir, la polimerización in-situ (ML Hernández-Vargas, 2011) (Jordi, 2009). Los cuales fueron caracterizo mediante Calorimetría diferencial de barrido DSC para la determinación de las transiciones térmicas; Reología; deformación uniaxial para determinar las propiedades mecánicas; ángulo de contacto con agua para la determinación del grado de hidrofocidad de los nanocompuestos. Determinando así el efecto de la incorporación de esta nanopartícula sobre las propiedades del poliacrílico puro, es decir si se genera un material hidrofóbico en presencia de la nanopartícula de SiO₂ y con un aumento en propiedades termomecánicas, candidato a una aplicación de protección de corrosión o absorción de agua. A continuación se discuten los resultados obtenidos.

Experimentación

Para la preparación de los nanocompuestos se utilizaron los monómeros de metacrilato de metilo, acrilato de butilo y ácido acrílico. Los monómeros fueron purificados, utilizando removedor de inhibidor, para la eliminación de hidroquinona, antes de los experimentos de polimerización. El proceso de polimerización en emulsión se realizó bajo condiciones de reflujo a 80 ° C, utilizando un iniciador de radicales y agente tensoactivo. Las nanopartículas (SiO₂) se dispersaron en agua destilada. La mezcla de monómeros, agente tenso activo de carácter iónico, nanopartículas y el iniciador radicalario se añadieron al matraz antes de iniciar la polimerización, el cual fue reaccionando durante 4hrs. El látex nanopartículas-acrílico resultante se filtró para eliminar el material no reaccionado.

Instrumentación

Dado que los poliacrílicos al utilizarlos forman una capa o película cuando se evapora el disolvente, por lo que se prepararon discos de masa constante en platos de teflón a partir de los látex sintetizados.

Propiedades Térmicas

La Temperatura de transición vítrea, T_g , de los discos, fue determinada mediante calorimetría diferencial de barrido, a una tasa de calentamiento de $10^\circ \text{C} / \text{min}$, utilizando un DSC 6000. Los Valores de T_g fueron corroborados mediante pequeñas deformaciones oscilatorias por corte, usando el reómetro CVO® de tensión controlada. El reómetro CVO, equipado con accesorio de placas paralelas de 25 mm de diámetro, los rampeados de temperatura se llevaron a cabo, dentro del régimen viscoelástico lineal, con escaneo a $2^\circ \text{C} / \text{min}$ y 1 Hz.

Propiedades de Mojabilidad

Las mediciones de ángulo de contacto con agua de los materiales compuestos se llevaron a cabo con un instrumento diseñado para la determinación de esta propiedad (R Castillo-Perez, 2012). Las imágenes fueron adquiridas con una cámara digital Motic1000. El volumen de la gota se mantuvo a $1 \mu\text{l}$ usando un micro jeringa. Para mayor precisión, las mediciones se repitieron 5 veces en diferentes regiones de la misma muestra.

Propiedades Mecánicas

El Módulo mecánico se determinó mediante deformación por tracción uniaxial usando el equipo de tracción mini TST-350. Deformación por tracción realizada a $5 \text{ mm} / \text{min}$, temperatura ambiente.

Resultados y discusión

Los discos del poliacrílico puro y los nanocompuestos fueron examinados utilizando microscopía óptica, con el fin de investigar si los materiales se mantuvieron ópticamente transparentes (como se esperaba en nanopartículas bien dispersadas) o mostraron evidencia de la aglomeración de nanopartículas. La Figura 1 muestra las micrografías ópticas de acrilato puro y los nanocompuestos. El poliacrílico puro, es un polímero ópticamente transparente, como se muestra en la Figura 1a. Los nanocompuestos con incorporación de nanopartículas de SiO_2 de 1 @ 3%, mantienen su transparencia óptica.

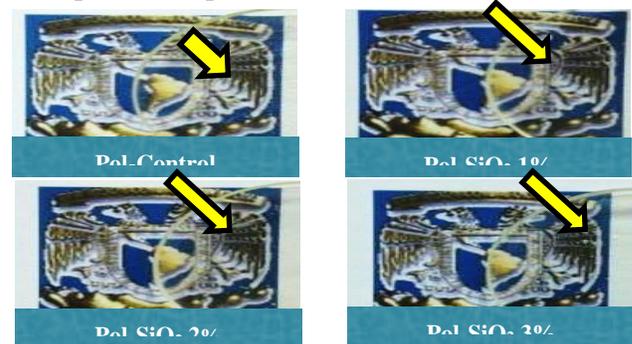


Figura 1 Transparencia óptica a la luz visible de (a) poliacrílico puro (b) SiO_2 -1%, (c) SiO_2 -2% y (d) SiO_2 -3%. Las películas transparentes se muestran colocadas encima del logotipo de la Universidad Nacional Autónoma de México

Los valores de temperatura de transición vítrea T_g obtenidos por pequeñas deformaciones oscilatorias por corte, mediante el reómetro CVO. Las Rampas de temperatura dinámicas, permitieron identificar en que momento el material sufre una transición es decir un cambio en propiedades mecánicas, de vidrio a caucho. Durante esta transición hay una temperatura asociada a la máxima disipación de energía y de amortiguación mecánica, $\text{Tan } \delta$. Esta temperatura está asociada con T_g del material, y los resultados se muestran en la Grafica 1. Estos resultados muestran que la T_g incrementa en presencia del 1% de incorporación de SiO_2 y una disminución en presencia de 2 y 3%.

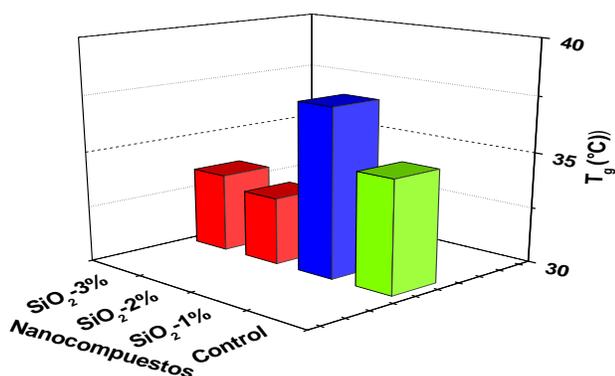


Gráfico 1 Temperatura de transición vítrea T_g (temperatura del máximo ángulo de pérdida δ) como función del porcentaje de nanopartícula, determinado por análisis dinámico mecánico (DMA)

Las propiedades mecánicas se determinaron mediante ensayos de tracción uniaxial Gráfica 2, y el módulo elástico de Young se determinó a partir de curvas de tensión-deformación, los resultados se muestran en la Figura 3. El poliacrílico puro (Figura 2a) muestra un alargamiento de aproximadamente 150%, típico de materiales acrílicos suaves.

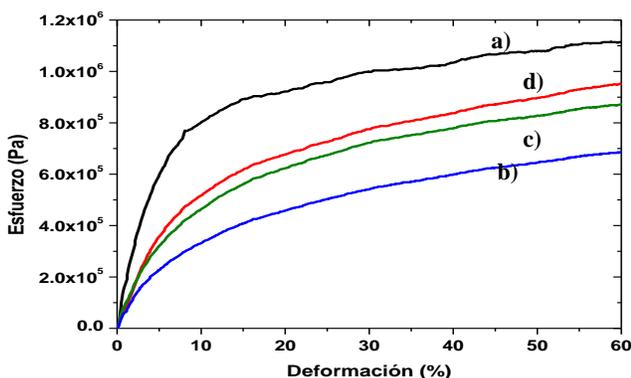


Gráfico 2 Curvas esfuerzo – deformación nanocompuestos poliacrílico/SiO₂. Pruebas de tensión uniaxial deformación de 5 mm / min y temperatura ambiente

Por otro lado los resultados de módulo de Young para los nanocompuestos poliacrílico / SiO₂ (Gráfica 3) mostraron una disminución en el módulo de Young con respecto al poliacrílico puro.

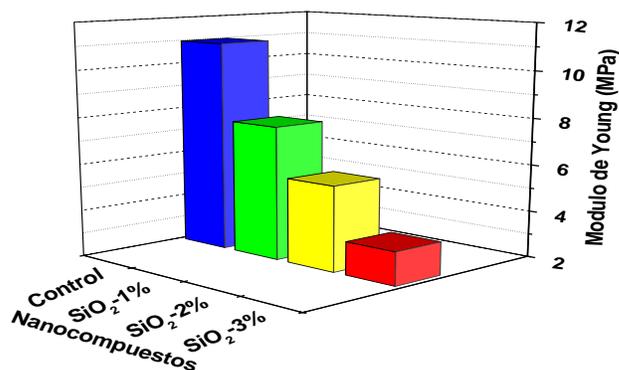


Gráfico 3 Módulos de Young de nanocompuestos poliacrílico/SiO₂, como función de la concentración de nanopartículas

Los resultados de ángulo de contacto con agua para los nanocompuestos poliacrílico/SiO₂ mostraron un comportamiento predominantemente hidrófobo con respecto al poliacrílico puro, de acuerdo a lo ya reportado (Raymond, 2009).

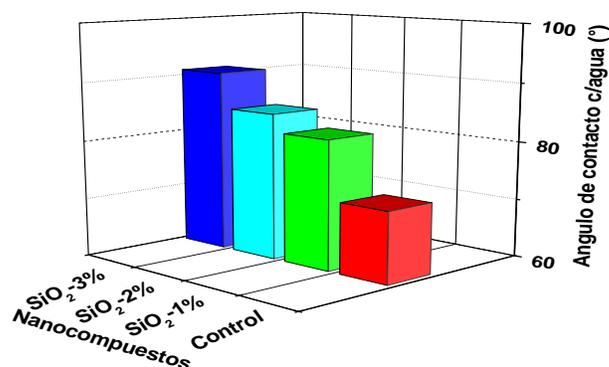


Gráfico 4 Ángulo de contacto con agua de nanocompuestos poliacrílico/SiO₂, como una función de la concentración de nanopartículas

Agradecimiento

R Castillo-Pérez agradece el apoyo de la beca de posgrado del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al Instituto de ciencias físicas de la UNAM Campus Cuernavaca y al posgrado de ingeniería de la UNAM.

Conclusiones

Recordemos que para la caracterización y evaluación de propiedades de los materiales se han realizado análisis de DSC, Reología, Angulo de contacto y deformación uniaxial. A la vista de los resultados obtenidos de dichos análisis Expuestos, se concluye lo siguiente: Los discos de nanocompuestos SiO₂ exhiben transparencia óptica, característica principal de para una matriz de poliacrílico. Esto es debido al tamaño nanométrico de las nanopartículas. Los estudios térmicos, revelan una disminución de T_g, al incorporar nanopartículas de morfología esférica como SiO₂ sobre la matriz de poliacrílico puro. Las propiedades de humectabilidad para los nanocompuestos SiO₂, muestran un aumento en el ángulo de contacto con agua, infiriendo hidrofóbicidad a la matriz de poliacrílico. En cuanto al estudio de las propiedades mecánicas a la tensión, este reveló que la incorporación de nanopartículas de morfología esférica como SiO₂, afectan el comportamiento mecánico, disminuyendo la resistencia a la tracción, pero conservando su alta elasticidad, disminuyendo en consecuencia el módulo de Young de la matriz de poliacrílico.

Referencias

- Baghdachi, T. P. (2007). *Smart Coatings*. Washington, DC: ACS Symposium Series 957.
- Chorng-Shyan, C. (2008). *Principles and applications of emulsion polymerization*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Damien M. Marquis, É. G.-J. (2013). *Properties of Nanofillers in Polymer, Nanocomposites and Polymers with Analytical Methods*.
- Jordi, C. C. (2009). *Pinturas y Recubrimientos. Introducción a su tecnología*. Ediciones Díaz de Santos.
- M.E. Romero-Guzmán, O. F.-U.-T. (2011). *Polym. Adv. Technol.* 22, 836–846.
- M.L. Hernández-Vargas, C. V.-C.-U. (2011). *ACS Polymer Chemistry Proceedings*.
- ME Romero-Guzmán, A. R.-U.-G.-R. (2008). *Polym. Adv. Technol.* 19, 1168-1176.
- ML Hernández-Vargas, C. V.-C. (2011). Nanocomposites coating incorporating nanosilica particles into polyacrylic. *Polymer Chemistry Proceeding*, American Chemical Society.
- Paul Holister, J.-W. W. (2003). Nanoparticles, Technology White Papersnr. *Published by Científica*.
- R Castillo-Perez, A. R.-U. (2012). *Memorias del XVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM ISBN: 978-607-95309-6-9, 772-779*.
- Raymond, H. (2009). *In Smart Coatings I*, Washington DC: ACS Symposium Series.
- Stoye Dieter, F. W. (1998). *Paints, Coatings and Solvents*. Wiley-VCH, Segunda edición completamente revisada .
- X Tong, H. Z. (2002). *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry* 40, 1706–1711.
- Y Chena, H. X. (2011). *Advanced Materials Research*, 1830-1833.

Estudio de la incorporación de nanopartículas inorgánicas en una matriz polimérica

HERNANDEZ, Mireya*†, CAMPILLO, Bernardo y ROMO, Ángel

Recibido 16 de Enero, 2015; Aceptado 9 de Marzo, 2015

Resumen

El campo de los materiales híbridos poliméricos se ha convertido en una nueva ruta de síntesis, desde la última década para obtener una nueva clase de materiales con propiedades mejoradas, tales como el aumento de módulo de Young, estabilidad térmica, resistencia a la llama, resistencia química y conductividad eléctrica. Estos materiales combinan los mejores atributos de los sólidos inorgánicos con las ventajas de procesamiento, ligereza y manipulación de los polímeros orgánicos. En el presente trabajo, se sintetizaron nanocompuestos poliacrílicos, incorporando una variedad de nanopartículas inorgánicas (Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2) en látex acrílico mediante polimerización en emulsión en modo batch. Los resultados mostraron que se obtuvieron emulsiones estables. Los análisis de las propiedades térmicas y mecánicas mostraron una disminución del módulo de Young y de la temperatura de transición vítrea T_g , en presencia de estas nanopartículas. Por otra parte, el comportamiento hidrofóbico, se realizó por ángulo de contacto con gota de agua, demostrado un aumento significativo en el comportamiento hidrofóbico al incorporar partículas de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 . Estos resultados mostraron que las nanopartículas inorgánicas influyen en gran medida las propiedades físicas y mecánicas de la matriz poliacrílica pura (control).

Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , Poliacrílico, Polimerización

Abstract

The field of hybrid polymer materials has become a new synthesis route since the last decade in order to obtain a new class of materials with enhanced properties such as: modulus, thermal stability, flame resistance, chemical resistance and electrical conductivity. These materials combine the best attributes of inorganic solids using the processability, lightweight and handling advantages of organic polymers. In the present work, we synthesized polyacrylic nanocomposites, incorporating a variety of inorganic nanoparticles (Al_2O_3 , Fe_2O_3 and TiO_2) into polyacrylic latex via emulsion polymerization in batch mode. The results showed that a stable emulsion was obtained. The analysis of the thermal and mechanical properties showed a decrease of Young's modulus and glass transition temperature T_g in the presence of these nanoparticles. Moreover, a hydrophobic behavior shown indicating a significant increment, when incorporating Al_2O_3 , Fe_2O_3 and TiO_2 particles. These results showed that the inorganic nanoparticles greatly influenced the physical and mechanical properties of the neat polyacrylic matrix.

Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , Polyacrylic, Polymerization

Citación: HERNANDEZ, Mireya, CAMPILLO, Bernardo y ROMO, Ángel. Estudio de la incorporación de nanopartículas inorgánicas en una matriz polimérica. Revista de Sistemas Experimentales 2015, 2-2: 71-76

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: Mireya.l.hdezvargas@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En los últimos años, los materiales híbridos (orgánico-inorgánicos) han atraído interés debido a sus amplias aplicaciones potenciales en diversos campos de la ciencia de los materiales, que van desde pinturas, fluidos magnéticos, y revestimientos de alta calidad para catálisis, microelectrónica y biotecnología. (Poole Charles P., 2007) (Raymond, 2009). Los compuestos híbridos combinan ventajas tanto de los polímeros y los materiales inorgánicos: los materiales poliméricos orgánicos con excelentes propiedades ópticas, buena flexibilidad y dureza son fáciles de procesar, y pueden mejorar la fragilidad de los materiales inorgánicos (S. Gross, 43 (2007)). Por otro lado, los materiales inorgánicos pueden mejorar la resistencia de los polímeros (V. Castelvetro, 108-109 (2004)). Los compuestos orgánicos-inorgánicos se pueden preparar mediante la mezcla de nanopartículas directamente con compuestos orgánicos o mediante un proceso de polimerización (E. Bourgeat-Lami, 233 (2010)). Los polímeros en emulsión son ampliamente utilizados como sustitutos de los productos a base de disolventes en la industria de recubrimientos, adhesivos, selladores, industrias del plástico y del caucho (Billmeyer, 2004) (Seymour, 2002). Las nanopartículas inorgánicas usadas comúnmente incluyen SiO₂ (A. R. Mahdavian, 43 (2) (2007)), Arcillas, ZnO, etc, para producir propiedades funcionales, tales como la resistencia al rayado, resistencia al moho, así como resistencia mecánica al impacto, es decir mejorar o ajustar las propiedades de diversas matrices poliméricas (T. Provder, 2007) (S. Varshney, 538 (2012)), tales como poli(metacrilato de metilo), poliestireno, polipropileno, poliuretano y poli(metacrilato de 2-hidroxietilo), entre otras (J. Zhang, 16 (1) (2007)) (H. Liu, 6 (2008)) (C.H. Shek, 8 (5) (1997)).

La combinación controlada de los compuestos inorgánicos y orgánicos es de interés creciente, ya que permite a los químicos crear nuevos materiales con inusual morfología, composición y propiedades procedentes de los bloques existentes.

En el presente trabajo se sintetizaron nanocompuestos poliacrílicos con la incorporación de las partículas de Al₂O₃, Fe₂O₃ y TiO₂, sobre un látex poliacrílico vía polimerización en emulsión. La hipótesis de este trabajo de investigación, consiste en que esta incorporación (nanopartículas inorgánicas) a un látex poliacrílico, modificará las propiedades físicas y mecánicas de la matriz poliacrílica pura. Para estudiar este efecto, fueron realizados los análisis de deformación uniaxial en tensión (Instron), calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis termogravimétrico (TGA) y determinación del grado de hidrofobicidad por ángulo de contacto con gota de agua. Los resultados obtenidos se discuten a continuación.

Experimentación

La polimerización en emulsión en sistema batch, se llevó a cabo con los monómeros: acrilato de butilo, metilmetacrilato y ácido acrílico. Para eliminar el inhibidor hidroquinona, presente en los monómeros antes de la reacción de polimerización, se utilizó un removedor de inhibidor. La polimerización en emulsión se llevó a cabo bajo condiciones de reflujo a temperaturas alrededor de 80°C, en sistema batch, utilizando un iniciador de radicales y un agente tensoactivo de carácter iónico. Para ello, la carga inicial al reactor fue agua destilada, tensoactivo, y las nanopartículas previamente dispersadas en agua destilada. Cuando el matraz se calentó a la temperatura de reacción, se adicionó la solución de iniciador, dejando reaccionar la mezcla durante 4 horas. El látex híbrido de nanopartículas-acrílico resultante se filtró para eliminar el material que no ha reaccionado.

Instrumentación

Dado que los poliacrílicos al utilizarlos forman una capa o película cuando se evapora el disolvente, se prepararon discos de masa constante en platos de teflón a partir de los látex sintetizados para realizar la caracterización antes mencionada.

Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

La caracterización fisicoquímica se realizó utilizando espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier mediante el equipo de espectroscopia Nicolet iS10. Todos los espectros FTIR fueron adquiridos a temperatura ambiente, 16 barridos, a una resolución de 4 cm^{-1} y en un intervalo de número de onda de 600 a $4,000\text{ cm}^{-1}$, usando el modo de resolución reflexión total atenuada (ATR).

Propiedades Mecánicas

El módulo mecánico se determinó mediante deformación por tracción uniaxial usando el equipo de tracción mini-TST-350. La deformación por tracción se realizó a 5 mm/min , a temperatura ambiente.

Propiedades Térmicas

La temperatura de transición vítrea, T_g , de los discos poliacrílicos con y sin incorporación de nanopartículas, se determinó mediante calorimetría diferencial de barrido, utilizando un DSC6000TM. La temperatura y la entalpía de calibración se llevaron a cabo usando indio grado analítico ($T_m = 156.6^\circ\text{C}$). Las transiciones térmicas se determinaron a una velocidad de calentamiento de 10°C/min , bajo una atmósfera de nitrógeno.

Los valores de T_g fueron corroborados mediante pequeñas deformaciones oscilatorias por corte usando el reómetro de tensión controlada CVO[®], equipado con accesorios de placas paralelas de 25 mm de diámetro, y se llevaron a cabo rampeados de temperatura, dentro del régimen viscoelástico lineal, con escaneos a 2°C/min y 1 Hz .

Las temperaturas de descomposición térmica, T_{dec} , se determinaron mediante análisis termogravimétrico (TGA), bajo una atmósfera de nitrógeno, usando un TGA Q500. El programa térmico consistió en: velocidad de calentamiento de 2°C/min .

Propiedades de Mojabilidad

Las medidas del ángulo de contacto con gota de agua de los materiales, se llevaron a cabo con un instrumento diseñado (Castillo-Perez R, 2012) para determinar esta propiedad. Las imágenes fueron adquiridas con una cámara digital Motic1000. El volumen de la gota de agua se mantuvo a $50\text{ }\mu\text{l}$ usando una microjeringa. Para mayor precisión, las mediciones se repitieron 5 veces en diferentes regiones de la misma muestra.

Resultados y Discusión

La interacción de las nanopartículas Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 con la matriz poliacrílica y la unión covalente de las cadenas de los monómeros acrílicos a través de la polimerización en emulsión, se determinó mediante espectroscopia infrarroja, usando el modo de reflectancia total atenuada (ATR-FTIR).

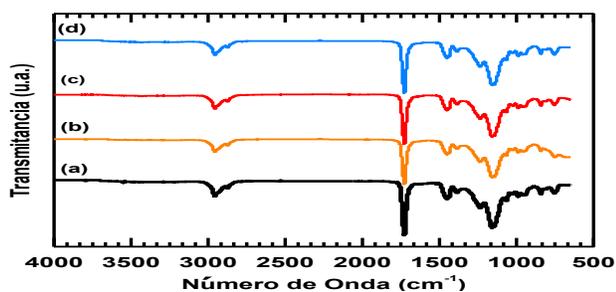


Gráfico 1 Espectros de infrarrojo del disco del poliacrílico del látex final a) Control y con adición de b) TiO_2 , c) Fe_2O_3 y d) Al_2O_3 .

En el gráfico 1, se observa el atenuamiento de la vibración del enlace químico correspondiente a la reacción del enlace doble $\text{C}=\text{C}$ (correspondiente a los grupos acrilato) con la molécula de iniciador a 1640 cm^{-1} , que confirma la formación de la unión covalente de las cadenas acrílicas. Claramente, se identifican otras vibraciones de bandas correspondientes a la estructura de los monómeros acrílicos: $\text{C}-\text{H}_2$, $\text{C}-\text{H}_3$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ a 2969 cm^{-1} , 2872 cm^{-1} , 1725 cm^{-1} , 1452 cm^{-1} y 1161 cm^{-1} , respectivamente (Socrates, 2001).

Las propiedades mecánicas se determinaron mediante ensayos de tracción uniaxial, ver gráfico 2, y el módulo de Young se determinó a partir de las curvas de esfuerzo-deformación, los resultados se observan en el gráfico 3. En el caso del poliacrílico Control (gráfico 2, inciso a) muestra un elongamiento de aproximadamente 150% de deformación, característica típica de materiales acrílicos suaves.

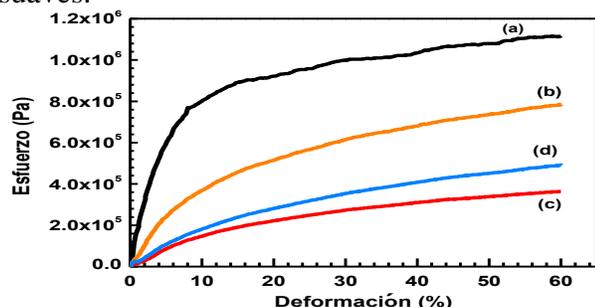


Gráfico 2 Curva esfuerzo-deformación de los discos del poliacrílico final. (a) Control (poliacrílico puro); y con incorporación de las nanopartículas (b) Al_2O_3 , (c) Fe_2O_3 y (d) TiO_2 .

Por otro lado, los resultados de módulo de Young para los poliacrílicos con incorporación de nanopartículas (gráfico 3) muestran una disminución en el módulo de Young respecto al poliacrílico puro.

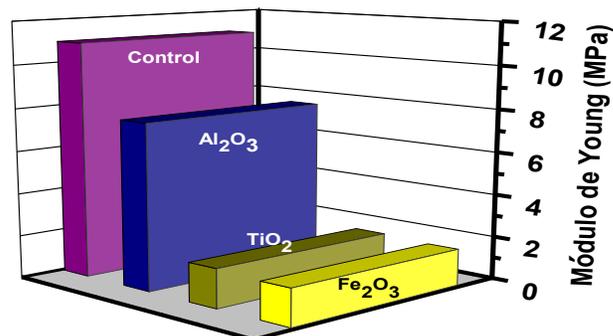


Gráfico 3 Módulos de Young de los nanocompuestos sintetizados en función de la nanopartícula adicionada

Los valores de temperatura de transición vítrea (T_g) se obtuvieron por pequeñas deformaciones oscilatorias por corte, utilizando el reómetro CVO de esfuerzo controlado. Las rampas de temperaturas dinámicas, permitieron identificar en que momento el material sufre una transición, es decir, un cambio en propiedades mecánicas, de vidrio a caucho. Durante esta transición, se encuentra una temperatura asociada a la máxima disipación de energía y de amortiguación mecánica, conocida como $\text{Tan } \delta$. Esta temperatura está asociada con la T_g del material y los resultados se observan en la tabla 1. Donde la T_g disminuye al incorporar las nanopartículas de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 .

| Muestra | Concentración de Nanopartícula (%g/g) | T_g (°C) | T_{dec} (°C) |
|-------------------------|---------------------------------------|------------|-----------------------|
| Control | 0 | 35 | 367 |
| Al_2O_3 | 1 | 33 | 402 |
| Fe_2O_3 | 1 | 32 | 432 |
| TiO_2 | 1 | 27 | 425 |

Tabla 1 Temperatura de transición vítrea (T_g) y Temperaturas de degradación (T_{Dec}) de los discos poliacrílicos.

La tabla 1 muestra además, la temperatura de descomposición térmica obtenidas por análisis termogravimétrico, de los compuestos poliméricos con y sin incorporación de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 . Los resultados muestran que la temperatura de descomposición térmica se desplaza hacia un rango de temperatura más alta que la poliacrílico control, lo que indica la mejora de la estabilidad térmica de los nanocompuestos con incorporación de partículas inorgánicas.

Los análisis de ángulo de contacto con gota de agua, ver gráfico 4, mostraron un comportamiento predominantemente hidrófobo con respecto al poliacrílico control. Es decir, el ángulo de contacto aumentó cuando se incorporó nanopartículas inorgánicas de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 respectivamente.

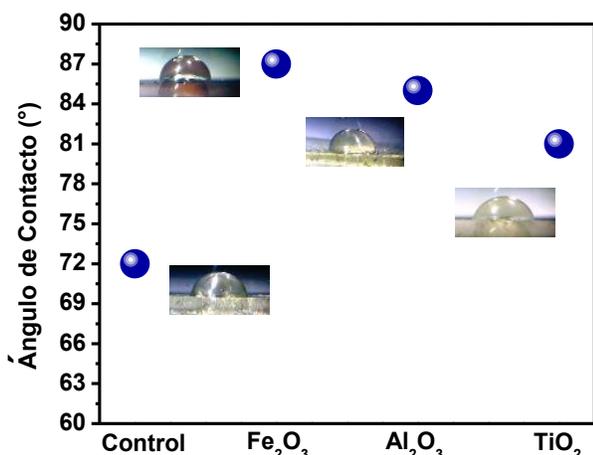


Gráfico 4 Ángulo de contacto con gota de agua de nanocompuestos como función del tipo de nanopartícula

Agradecimientos

ML Hernández-Vargas agradece el apoyo de la beca de posgrado del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM Campus Morelos y al Posgrado en Ingeniería de la Facultad de Química de la UNAM.

Conclusiones

En el presente estudio se demostró la factibilidad de la polimerización en emulsión de poliacrílicos en presencia de nanopartículas inorgánicas. Esto es, se realizó la polimerización de los monómeros: acrilato de butilo, metilmetacrilato y ácido acrílico, con incorporación de TiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 . Se demostró además que es posible obtener emulsiones estables en concentración de nanopartículas de 1 %g/g. Los estudios térmicos, revelan una disminución de T_g , al incorporar nanopartículas sobre la matriz del poliacrílico puro. El análisis de degradación térmica de los látex poliacrílicos con y sin incorporación de nanopartículas mediante TGA muestra que las nanopartículas infieren mayor estabilidad térmica que la muestra control, debido al carácter inorgánico de las nanopartículas incorporadas. En cuanto al estudio de las propiedades mecánicas a la tensión, este reveló que la incorporación de nanopartículas, afectan el comportamiento mecánico, disminuyendo la resistencia a la tracción, pero conservando su alta elasticidad, disminuyendo en consecuencia el módulo de Young de la matriz poliacrílica. Las propiedades de humectabilidad para los nanocompuestos, muestran un aumento en el ángulo de contacto con gota de agua, infiriendo hidrofobicidad a la matriz de poliacrílica. Los resultados anteriormente descritos muestra que la incorporación de TiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 modifican las propiedades físicas y mecánicas del látex poliacrílico final en comparación con el poliacrílico puro.

Referencias

A. R. Mahdavian, M. A. (43 (2) (2007)). Preparation of poly (styrene–methyl methacrylate)/ SiO_2 composite nanoparticles via emulsion polymerization. An investigation into the compatibilization. *European Polymer Journal*, 336–344.

- Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. Editorial Reverté.
- C.H. Shek, J. L. (8 (5) (1997)). Transformation evolution and infrared absorption spectra of amorphous and crystalline nano-Al₂O₃ powders. *Nanostructured Materials*, 605–610.
- Castillo-Perez R, R.-U. A. (2012). *Memorias del XVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM ISBN: 978-607-95309-6-9, 772-779*.
- E. Bourgeat-Lami, M. L. (233 (2010)). Organic/Inorganic Composite Latexes: The Marriage of Emulsion Polymerization and Inorganic Chemistry. *Adv Polym Sci*, 53–123.
- H. Liu, H. Y. (6 (2008)). Synthesis and characterization of PMMA/Al₂O₃ composite particles by in situ emulsion polymerization. *Particuology*, 207–213.
- J. Zhang, J. G. (16 (1) (2007)). Preparation and Characterization of TiO₂/Poly(St-co-MAA) Core/Shell Composite Particles. *Iranian Polymer Journal*, 39-46.
- Poole Charles P., O. F. (2007). *“Introducción a la nanotecnología”*. Editorial Reverté.
- Raymond, F. (2009). *Nanocomposite and nanostructured coatings: recent advancements, Nanotechnology Applications in Coatings*. Washington, DC: Eds. ACS Symposium Series 1008.
- S. Gross, D. C. (43 (2007)). PMMA: A key macromolecular component for dielectric low-j hybrid inorganic–organic polymer films. *European Polymer Journal*, 673–696.
- S. Varshney, K. S. (538 (2012)). Synthesis, characterization and surface properties of Fe₂O₃ decorated ferromagnetic polypyrrole nanocomposites. *Journal of Alloys and Compounds*, 107–114.
- Seymour, R. B. (2002). *Introducción a la Química de Los Polímeros*. Ed. Reverté.
- Socrates, G. (2001). *Infrared and Raman characteristic Group Frequencies: Tables and Charts*. John Wiley & Sons.
- T. Provder, J. B. (2007). *Smart Coatings*. Washington, D.C.: Eds. ACS Symposium Series 957.
- Valter Castelvetro, C. D. (2004). Nanostructured hybrid materials from aqueous polymer dispersions. *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 108-109. Pág. 167-185.

Propiedades termo-mecánicas de nanocompuestos poliacrílicos-montmorillonita

HERNANDEZ, Oscar*†, CAMPILLO, Bernardo y ROMO, Angel

Recibido 19 de Enero, 2015; Aceptado 10 de Marzo, 2015

Resumen

Determinar la influencia de la nanoarcilla modificada sobre la matriz polimérica y sus propiedades termo-mecánicas y de mojabilidad. Es bien conocido que la incorporación de silicatos estratificados en matrices poliméricas mejora en gran medida las propiedades del polímero. Hoy en día, hay muchas aplicaciones de nanocompuestos poliméricos incluyendo revestimientos arquitectónicos, automotriz y la industria de la construcción, entre otros. En esta investigación el comportamiento termo-mecánico de los acrílicos con arcillas especialmente preparados con Montmorillonita (MMT) fueron investigados. Los acrílicos se basaron en acrilato de butilo (BA), estireno (sty), y ácido metacrílico (MAA), y la nanoarcilla Na-Montmorillonita (MMT). MMT se añadió mediante un proceso in-situ, durante el proceso de polimerización. El estado de agregación fue investigado por DSC para determinar transiciones térmicas, lo cuales mostraron una pequeña variación en la transición vítrea (T_g), por otro lado se estudió propiedades mecánicas para determinar módulo de Young, el cual se obtuvo hasta un orden de magnitud en reforzamiento mecánico y por último se determinó ángulo de mojabilidad para determinar la propiedad de hidrofobicidad del nanomaterial, lo cual la arcilla induce hidrofobicidad a la matriz polimérica.

Recubrimiento, in-situ, Montmorillonita, transición, modulo Young

Abstract

To determine the influence of the modified Nano clay (MMT) on the polymeric matrix and thermomechanical properties and wettability, it is well known that the incorporation of silicates in polymer matrices greatly improves the polymer properties. Today, there are many applications of polymer nanocomposites including architectural coatings, automotive and construction industry, among others. In this research, the thermomechanical behavior of acrylic specially prepared with montmorillonite clay (MMT) was investigated. Acrylics are based on butyl acrylate (BA), styrene (STY), and methacrylic acid (MAA), and Na-montmorillonite (MMT) Nano clay. MMT is added either during the (in-situ) process, polymerization reaction. The state of aggregation was investigated by DSC to determine thermal transitions, which showed a small change in the glass transition (T_g). On the other hand, we study the mechanical properties to determine Young's modulus, which was up to an order of magnitude in mechanical reinforcement; and finally the wetting angle was determined to determine the ownership of hydrophobicity of the nanomaterial, which induces clay hydrophobicity to the polymer matrix.

Coating, in-situ, montmorillonite, transition module Young

Citación: HERNANDEZ, Oscar, CAMPILLO, Bernardo y ROMO, Angel. Propiedades termo-mecánicas de nanocompuestos poliacrílicos-montmorillonita. Revista de Sistemas Experimentales 2015, 2-2: 77-81

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: oscar.hernandez@uaem.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente, los polímeros son materiales de gran relevancia en nuestras sociedades modernas. Esta importancia se hace presente en numerosos ámbitos de nuestra vida cotidiana, y los encontramos en nuestros hogares, tejidos, electrodomésticos, automóviles, y en aplicaciones donde los requerimientos son muy exigentes como es el sector aeroespacial. (Gao, 2004)

Los Recubrimientos desempeñan una o más de tres papeles clave en estas aplicaciones: 1) mejorar el atractivo estético del producto, 2) proteger el sustrato a partir de una amplia gama por ejemplo, a la corrosión, estética superficial, humedad en paredes, y 3) proporcionar una funcionalidad especializada para el producto (por ejemplo, la conductividad, aislamiento, repelencia al agua, y la reflexión de calor). (BARBARA PIETERS, 2007) Es en estas dos últimas funciones en la nanotecnología ha abierto posibilidades muy interesantes para mejorar los atributos de rendimiento de los recubrimientos y los productos asociados. (Fernando, 2009)

Los polímeros son materiales que están constituidos por gran cantidad de unidades de monómeros que se repiten, dando lugar a moléculas de alto peso molecular, también denominadas macromoléculas. Estas macromoléculas son las responsables de que estos materiales presenten propiedades únicas y diferenciadas del resto de materiales tradicionales como son los metales y las cerámicas. (Callister, 2009)

Los polímeros son, en general, compuestos de naturaleza orgánica, es decir, están formados por átomos de carbono unidos entre sí. Forman lar-gas cadenas, debido a la capacidad del átomo de carbono para enlazarse consigo mismo, dando lugar a las macromoléculas que anteriormente citábamos. (Carrasquero, 2004)

Aunque el carbono es el principal elemento de estas cadenas, podemos encontrar otros elementos como son hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, cloro, azufre o flúor. (Jamil, 2009)

Es así que este trabajo se investiga la influencia de la incorporación de nanopartículas inorgánicas en la matriz nanoestructura de poliacrílico de látex, el cual está compuesto por (acrilato de bulito/acido metacrilato/estireno), reforzados con nanopartículas inorgánicas de Montmorillonita (arcilla, $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$), dicha polimerización se lleva a cabo en proceso in-situ en presencia de la partícula, (Romero-Guzmán, 2008) que así mismo al incorporar diferentes porcentajes en peso, a mayor concentración de nanopartícula se obtendrá un mayor mejoramiento en propiedades hidrofóbicas, reforzamiento en propiedades mecánicas y (Gao, 2004) térmicas. Por lo cual las propiedades mecánicas se estudiaran en un extensómetro uniaxial, las propiedades térmicas por Calorimetría Diferencial de Barrido y las propiedades de mojabilidad por ángulo de contacto, lo cual se describen a continuación.

Esperimentación

El polímero es un aglutinante acrílico con la composición 65 acrilato butilo / 33.5 estireno / 1.5 ácido metacrílico sintetizada a través de un proceso de polimerización en emulsión redox-ácido procesado en la compañía Rohm & Haas R&D Laboratorios. La arcilla es una montmorillonita sódica, PVG grado, fabricado por Nanocor. Se estudió por tipo de nanocompuestos de arcilla: en proceso en in-situ. El látex nanocompuesto in-situ fue producido a través de la síntesis, el polímero en la presencia de nanopartículas de arcilla. (M.L. Hernandez-Vargas, 2013) (J. Cardoso, 2012).

Películas de aproximadamente 1 mm de espesor se formaron en 100 mm de diámetro platos de Petri mediante el secado de 15,9 gramos de muestra húmeda bajo condiciones de temperatura y humedad constantes (24 °C y 50% de humedad).

Instrumentación

Los poliacrílicos al utilizarlos se forman una capa o película en forma de disco, cuando se evapora el disolvente, se prepararon de los mismos discos dependiendo la técnica a realizar para determinar la influencia de las nanopartículas sobre las propiedades del poliacrílico, como se muestra a continuación.

Propiedades térmicas

Calorimetría diferencial de barrido (DSC). Para los experimentos de DSC se utilizó el calorímetro DSC6000™. La temperatura y la entalpía de calibración se llevaron a cabo usando indio grado analítico ($T_m = 156,6 \text{ °C}$). Las transiciones térmicas se determinaron a una velocidad de calentamiento de 10 °C / min en atmósfera de nitrógeno seco.

Propiedades Mecánicas

Las curvas esfuerzo deformación como el Módulo mecánico se determinó mediante deformación por tracción uniaxial usando el equipo de tracción mini TST-350. Deformación por tracción se realizó a 5 mm / min , temperatura ambiente.

Propiedad de mojabilidad

Las mediciones del ángulo de contacto se llevaron a cabo con un instrumento construido en el laboratorio que consta de un microscopio óptico Stereomaster II, Fisher Scientific Modelo SPT-ITH (R. Castillo-Perez, 2012).

Las imágenes fueron adquiridas con una cámara digital Motic1000. El volumen de la gota se mantuvo a $50 \mu\text{L}$ en todos los casos utilizando una micro jeringa. Para mayor precisión, las mediciones se repitieron 5 veces en diferentes regiones de la misma muestra.

Resultados y conclusión

Las transiciones térmicas se determinaron por DSC. La temperatura de transición vítrea (T_g) del poliacrílico sin relleno (poliacrílico control 0% de MMT) es $8,4 \text{ °C}$. Por otro lado los resultados mostraron que T_g aumentó con la adición de montmorillonita sódica (MMT), como se muestra en el gráfico 1, para todas las concentraciones. (Maria Eugenia Romero-Guzmán, 2008)

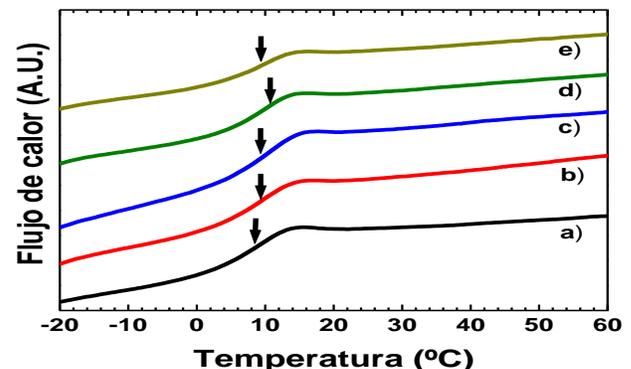


Gráfico 1 Transiciones térmicas de los nanocompuestos de poliacrílico-arcilla (MMT), a) control, b) 5% en peso (MMT), c) 7.5% en peso (MMT), d) 10% en peso (MMT) y e) 25% en peso (MMT)

En el gráfico 2 se muestran los diagramas de esfuerzo-deformación de los poliacrílicos nanoestructurados con arcilla (MMT).

Cabe señalar que en esta prueba cada una de las muestra fueron deformadas solo un 50%, lo cual una de las características fundamental es que pueden superar el 100% de deformación sin llegar a la fractura. (Rajme-Mendez, Salgado-Escobar, & Romo-Urbe, 2011)

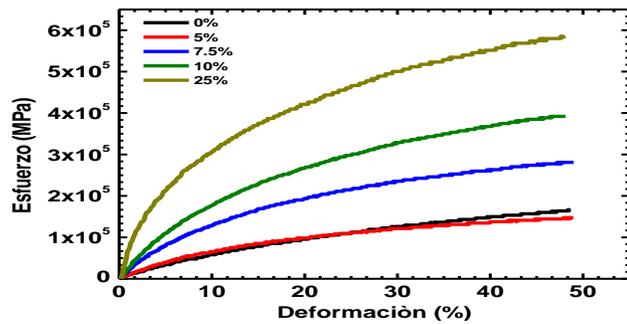


Gráfico 2 Curvas esfuerzo deformación de los materiales poliacrílicos, y su porcentaje en peso de nanoarcilla incorporada (MMT)

El siguiente gráfico 3, Se muestra que a partir de la zona elástica se determinó la variación del módulo de Young, que es la constante de proporcionalidad entre la deformación elástica y el esfuerzo uniaxial, y representa la pendiente de la parte lineal de la gráfica esfuerzo-deformación, que son cambios que experimenta un material cuando está sometido a la acción de esfuerzos de tracción, se muestra un incremento en el módulo de Young como función de la concentración arcilla (MMT), para todos los porcentajes agregados a la matriz de poliacrílico.

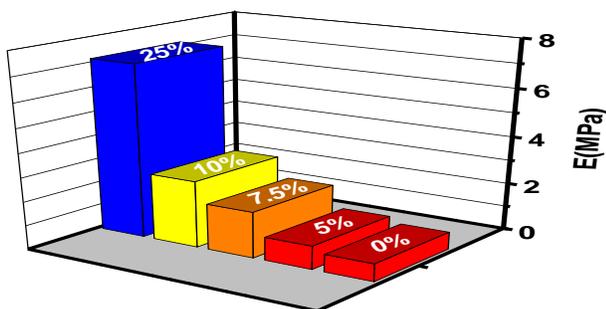


Gráfico 3 Propiedades mecánicas, módulo de Young en función de la concentraciones de nanoarcilla (MMT)

Las mediciones del ángulo de mojabilidad se presentan en el gráfico 4, los resultados mostraron que al agregar la nanopartícula a la matriz polimérica induce una propiedad hidrofóbica con relación a la matriz del poliacrílico control, es decir, que al ir incremento la nanopartícula arcilla (MMT) incrementa el comportamiento hidrofóbico en el material poliacrílico nano estructurado.

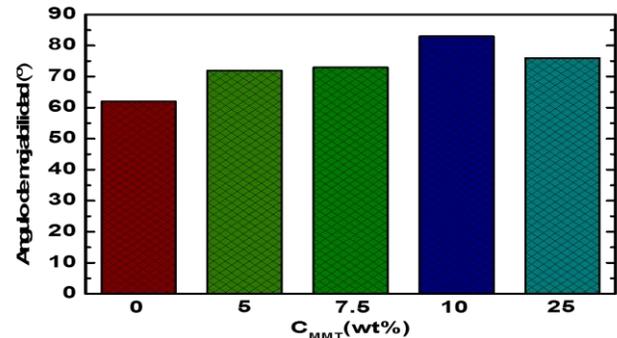


Gráfico 4 Influencia en (%) de la nanopartícula (MMT) en la propiedad de mojabilidad en la matriz polimérica

Agradecimientos

O. Hernández Guerrero agradece esta investigación por el apoyo a CONACYT por la beca de posgrado otorgada, y al Instituto de Ciencias Físicas (ICF) de la UNAM campus Morelos.

Conclusiones

En el presente estudio se han realizado la caracterización térmica y mecánicas de los recubrimientos de base poliacrílico estireno (Sty) /ácido metacrílico (MAA) /Acrilato de butilo (BA), reforzadas con nanopartículas de arcilla Montmorillonita en porcentajes de 5%, 7.5%, 10%, 25%, respectivamente.

Recordemos que para la caracterización y evaluación de propiedades de los materiales se han realizado análisis de térmicos Calorimetría Diferencial de barrido (DSC), Propiedades Mecánicas (deformación uniaxial) y ángulo de contacto, (propiedad de mojabilidad). A la vista de los resultados obtenidos de dichos análisis, se concluye lo siguiente:

La nanoarcilla montmorillonita induce un incremento en la transición vítrea T_g en la matriz polimérica.

Por otro lado se induce un incremento de hasta un orden de magnitud en el módulo mecánico (Módulo de Young).

Las películas de poliacrílico con la nanopartícula arcilla (MMT) mostraron un incremento en comportamiento hidrofóbico.

Referencias

BARBARA PIETERS, P. M. (2007). NANOTECHNOLOGIES, YOLE DÉVELOPPEMENT . *JEC Magazine #34*).

Callister, W. D. (2009). *Introducción a la ciencia de los materiales, segunda edición*. Limusa Wiley.

Carrasquero, F. L. (2004). *Fundamentos de polímeros*. Venezuela: Universidad de los Andes Facultad de Ciencias.

Fernando, R. H. (2009). " *Nanocomposite and Nanostructured Coatings* ". Department of Chemistry and Biochemistry, Recent Advancements.

Gao, F. (2004). *Clay / polímero composites the story*. Elsevier.

J. Cardoso, A. R.-U. (2012). *Appl Polym Sci*. 123, 944 .

Jamil, B. (2009). *Coating Research*. Instituto Eastern Michigan University: American chemical Society .

M.L. Hernandez-Vargas, a. A.-U. (2013). *Polymeric Materials. Science & Engineering* 108, 77.

Maria Eugenia Romero-Guzmán, A. R.-U.-G. (2008). *Polym. Adv. Technol.* 19: . 1168–1176.

R. Castillo-Perez, A. R.-U. (2012). *Memorias del XVIII Congreso Internacional Anual . SOMIM, ISBN: 978-607-95309-6-9: 772-779* .

Rajme-Mendez, J., Salgado-Escobar, I., & Romo-Urbe, C. V.-C. (2011). "Biodegradable layered-nanocomposites based on pectin and montmorillonite". *Polym Mater: Sci & Eng*.

Romero-Guzmán, A. R.-U.-G.-R. (2008). "Microstructure and Dynamic Mechanical Analysis of Extruded Layered Silicate PVC Nanocomposites". *Polym. Adv. Technol.* 19, 1168-1176.

Producción de biodiesel a partir de microalgas cultivadas en aguas residuales

CONDE, Carolina*†, LÓPEZ, Antioco, AGUILAR, Karina y DÍAZ, Luis

Recibido 21 de Enero, 2015; Aceptado 12 de Marzo, 2015

Resumen

Actualmente, se están buscando nuevas fuentes de materias primas para la generación de biocombustibles; las cuales deben caracterizarse por ser económicas, no competir directa o indirectamente con la alimentación y no generar impactos negativos en el ambiente. Una de las propuestas que está teniendo mayor interés es el uso de microalgas para generar biomasa, que pueda transformarse en biocombustibles. Por otro lado, estos microorganismos también se caracterizan por funcionar como un medio para la remediación de aguas residuales. Por esta razón, el presente trabajo tuvo por objetivo demostrar factibilidad de producir biodiesel a partir de biomasa generada en el tratamiento de agua con microalgas. Se realizó la generación de biomasa en un sistema cerrado, expuesto a luz solar. La biomasa se separó del medio en periodos de 2, 3 y 4 semanas. Se realizó el análisis de los porcentajes de aceites y proteínas de la biomasa. La masa de aceite se utilizó en la reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel, observando satisfactoriamente la generación del biocombustible.

Microalgas, biodiesel, biomasa y transesterificación

Abstract

Nowday, people around of word are looking for new sources for biocombustibles production; which should be economic, envairomental and social friendly. The interes on biocombustibles production from microalgae biomass is increasing. On the other hand, microalgae can be used in wastewater trament. For this reason, the objective of this work was to show factibility of biodiesel production using biomass generated from migroalgae wastewater trament. A close system with solar light was used. The biomass was separated from the water in periods of 2, 3 and 4 weeks. The oils and proteins composition into biomass was analized. The extracted oil was used in transesterification reaction for biodiesel production, observing a success biodiesel generation.

Microalgae, biodiesel, biomass and transesterification

Citación: CONDE, Carolina, LÓPEZ, Antioco, AGUILAR, Karina y DÍAZ, Luis. Producción de biodiesel a partir de microalgas cultivadas en aguas residuales. Revista de Sistemas Experimentales 2015, 2-2: 82-87

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: cconde@upfim.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente la humanidad afronta una grave problemática debido al aumento de la demanda energética mundial, el agotamiento de los combustibles fósiles, el incremento en el precio del petróleo y las dificultades ambientales causadas por los gases de efecto invernadero. La sociedad debe ocuparse para que las futuras generaciones no enfrenten el desabasto de energía. Esta situación demanda fuentes alternas de energía basadas en procesos renovables y sustentables. El uso de biomasa derivada de microalgas puede ser una de las alternativas para la generación de energía en forma de biocombustibles. Principalmente, la producción de biodiesel puede ser una tecnología ventajosa debido al elevado contenido de lípidos que algunas especies de microalgas pueden acumular. Generalmente, la obtención de este biocombustible se ha implementado a partir de plantas oleaginosas (comestibles y no comestibles). Este tipo de materiales están limitados por varios factores tales como, largos periodos de cultivo, rendimiento lipídico restringido, las condiciones climáticas, la ubicación geográfica, la fertilidad de los suelos, la superficie de cultivo requerida y el volumen de agua necesario para el riego (Endalew, Kiros, & Zanzi, 2011; Schenk et al., 2008). En el caso de la producción de biodiesel basada en microalgas, los factores mencionados no son limitantes para la generación de la biomasa. Sin embargo, para la implementación de procesos de producción basados en microalgas se requiere afrontar otros retos como la adecuada separación de la biomasa en sus tres principales componentes, lípidos, carbohidratos y proteínas. Por otro lado, las microalgas pueden emplearse en la remediación de aguas residuales, por lo que el uso de las mismas como medio de cultivo puede contribuir a la solución de dos importantes problemas, la disminución efluentes contaminados y la generación de biomasa.

Debido al interés en el desarrollo de tecnologías basadas en microalgas en el presente trabajo se ha planteado por objetivo demostrar el potencial aprovechamiento de la biomasa derivada de microalgas cultivadas en aguas residuales para la producción biodiesel. Para lograr este fin se ha implementado una metodología experimental que consta de tres principales etapas, producción de biomasa, extracción de aceite y proceso de transesterificación.

Antecedentes

Bajo el término de microalga se incluyen aquellos microorganismos unicelulares capaces de llevar a cabo la fotosíntesis. En esta categoría quedan agrupadas las cianobacterias y las algas eucariotas. En general organismos fotoautótrofos, es decir, obtienen la energía de la luz proveniente del sol y se desarrollan a partir de materia inorgánica. Los elementos inorgánicos requeridos para el crecimiento de las microalgas son: C, O, N, P, S, Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B, Br, Si, Cu, Co, Cl, I, Sr, Rb, Al y vitaminas. La mayoría de la especies de microalgas toleran temperaturas entre 16 y 27°C, aunque esto puede variar de acuerdo a la composición del medio de cultivo o la especie cultivada. Un valor intermedio de 18-20°C es frecuentemente empleado. La luz es la fuente de energía que promueve las reacciones fotosintéticas en las microalgas. Las microalgas crecen de manera exponencial (Zeng et al., 2015). Se inicia con la inoculación del medio, después de la inoculación las células crecen y se dividen cada vez más deprisa conforme se van aclimatando a las condiciones de cultivo. Esta fase de aclimatación, que dura de 2 a 3 días, se llama fase de inducción. Una vez que se adaptan a las condiciones, la velocidad de división celular se acelera y el crecimiento del número de células en el cultivo se hace exponencial.

Este período dura de 4 a 6 días y se denomina fase de crecimiento exponencial. La velocidad de división celular se va haciendo lenta conforme se va limitando la penetración de la luz a través del cultivo o los nutrientes. Es entonces cuando el cultivo entra en la fase estacionaria, que puede durar muchos días (Chiu et al., 2015).

El metabolismo lipídico de las algas es similar al de plantas superiores, particularmente en la biosíntesis de ácidos grasos y triglicéridos por la similitud de características bioquímicas entre ciertos genes y enzimas, de origen vegetal y algal. La composición de ácidos grasos en las microalgas incluye moléculas lineales de 12 a 22 átomos de carbono en número par, saturadas e insaturadas. En las microalgas dulceacuícolas generalmente prevalecen ácidos grasos saturados y mono-insaturados, observándose en menor proporción compuestos poli-insaturados. La mayoría de los lípidos microalgales son lípidos polares que son componentes de membrana; mientras que los triglicéridos son una reserva de ácidos grasos para la división celular, energía metabólica, mantenimiento de la membrana, síntesis y una amplia variedad de funciones fisiológicas. Los triglicéridos pueden llegar a constituir hasta el 80% del total de lípidos en microalgas eucariotas. La Tabla 1 muestra los porcentajes de lípidos contenidos en algunas especies de microalgas.

| Especie | % de lípidos |
|-------------------------|--------------|
| Chlorella sp | 57 |
| Chlorella vulgaris | 40 |
| Chlorella vulgaris | 56.6 |
| Dunaliella sp | 67 |
| Naochioris oleoabundans | 34 |
| Botryococcus braunii | 25-75 |
| Chlorella sp | 28-32 |
| Cryptocodinium cohnii | 20 |
| Cylindrotheca sp | 16-37 |
| Dunaliella primolecta | 23 |
| Isochrysis sp | 25-33 |
| Monallanthus salina | 20 |

Tabla 1 Porcentaje de lípidos presentes en algunas especies de microalgas. Fuente Mata y col. (2010)

La producción de bioenergía a partir de microalgas fue contemplada desde los años cincuenta; sin embargo, a partir de la crisis energética de 1975, el potencial económico de esta tecnología fue reconocido por varios países como EUA, Japón y Australia (Huntley & Redalje, 2007; Vazquez-Duhalt & Arredondo-Vega, 1991). La producción de biodiesel a partir de microalgas es un proceso conformado principalmente por las etapas de producción de biomasa rica en lípidos, recuperación o cosecha de la biomasa, extracción de lípidos y transesterificación. Entre estas etapas la recuperación o cosecha de la biomasa es el paso limitante debido a que actualmente no se cuenta con un método eficiente a gran escala para separar la biomasa del medio de cultivo.

La transesterificación o alcoholólisis es la reacción química ocurrida entre los aceites y un alcohol (comúnmente metanol o etanol) para producir glicerol y alquil ésteres de ácidos grasos, los cuales son conocidos como biodiesel. Los principales factores que influyen en el proceso son la relación molar alcohol: triglicéridos, el tipo de catalizador (álcali, ácido, lipasas), la temperatura, el tiempo de reacción y el contenido de agua y ácidos grasos libres en la materia prima. En la actualidad, la mayoría del biodiesel es producido mediante transesterificación alcalina, a causa de su rapidez y condiciones moderadas de operación (Liu & Zhao, 2007; Sharma, Singh, & Upadhyay, 2008; Vasudevan & Briggs, 2008).

Metodología Experimental

En este trabajo se desarrolló una metodología experimental para demostrar el potencial de producción de biodiesel a partir de aceite derivado de microalgas. Esta metodología constó de cuatro principales etapas, la generación de biomasa usando como medio de cultivo aguas residuales, la separación de biomasa del medio de cultivo, extracción de aceite y proceso de transesterificación (Fig. 1).

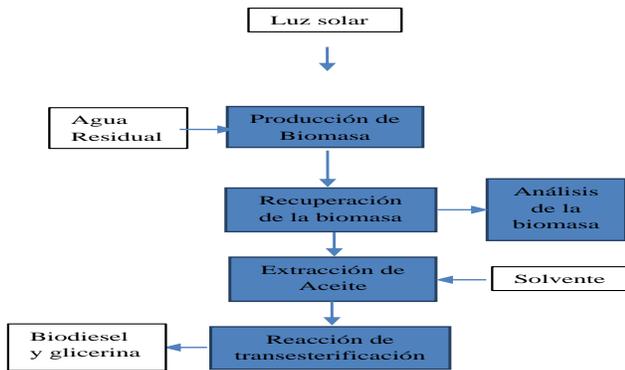


Figura 1 Metodología General

Se estimó el porcentaje de humedad que acompaña a la biomasa después de la separación del medio; para la separación se usó filtración. Así como, la estimación de los porcentajes de aceite y proteína presentes en la biomasa.

Materiales y reactivos

En la Tabla 2 se enlistan los materiales y reactivos utilizados en el desarrollo experimental.

Determinación del porcentaje de humedad

Para medir el porcentaje de humedad se tomaron dos muestras de biomasa, separadas del medio de cultivo usando filtración. Se determinaron las pesadas necesarias para el cálculo de la humedad, como se muestra en la Tabla 3. El secado de las muestras se realizó dentro de una estufa durante una hora a 75°C. El cálculo del porcentaje de humedad se realizó con la ecuación (1). Donde P_{mh} es peso de la muestra húmeda y P_{ms} es peso de la muestra seca.

| Equipo | Reactivos |
|-------------------------|--------------------------------|
| Soxhlet | Hexano |
| Kjendahl | Metanol |
| Estufa | Hidróxido de sodio |
| Material de cristalería | Sulfato cúprico pentahidratado |
| | Sulfato de potasio |
| | Dióxido de selenio |
| | Ácido bórico |
| | Ácido sulfúrico |

Tabla 2 Lista de materiales y reactivos

| Número de muestra | Peso del crisol con muestra húmeda | Peso del crisol con muestra seca | Peso de la muestra húmeda |
|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1 | 66.52 | 62.60 | 4.0295 |
| 2 | 66.53 | 62.30 | 4.3642 |

Tabla 3 Datos de pesos para la determinación de humedad

$$\%Humd = \frac{P_{mh} - P_{ms}}{P_{mh}} \times 100 \quad (1)$$

Determinación del porcentaje de proteína por el método Kjendahl

Para la realización de este análisis se prepararon cuatro muestras de microalga seca y molida, con los pesos mostrados en la Tabla 4. Se realizó la preparación de los reactivos para la mezcla digestora en los siguientes porcentajes en peso 88.88% de sulfato cúprico pentahidratado, 8.88% de sulfato de potasio y 2.22% de dióxido de selenio. A cada muestra se añadieron 5 gr de mezcla digestora y 15 ml de ácido bórico concentrado y se dejaron en digestión durante aproximadamente 90 min hasta obtener un color verde claro, se dejaron enfriar. Después se añadieron 75 ml de agua a cada muestra para ser tratadas en el equipo Kjendahl, donde se utilizó una solución de hidróxido de sodio 1 N. Finalmente, se realizó la titulación de las muestras usando una solución de ácido sulfúrico 0.1N y rojo de metilo como indicador.

Para la estimación del porcentaje de nitrógeno se usó la ecuación (2) y para la estimación del porcentaje de proteína la ecuación (3).

| Muestra | Peso de la muestra colocada |
|---------|-----------------------------|
| M1 | 0.1002 |
| M2 | 0.1001 |
| M3 | 0.1043 g |
| M4 | 0.1055 g |
| Blanco | 0 g |

Tabla 4 Peso de las muestras para análisis de proteína

$$\%N = \frac{(V_{\text{promedio}} - V_{\text{blanco}})Neq(N_{\text{ácido}})}{P_{\text{promedio}}} \quad (2)$$

$$\%proteína = (\%N)6.25 \quad (3)$$

Determinación de grasa con el equipo Soxhlet

Para determinar el porcentaje de aceites presentes en las microalgas se empleó el equipo soxhlet, usando como solvente hexano y ocho ciclos de recirculación. Se ingresaron 19.5645 gramos de microalga seca, esta muestra se reunió con la separación de microalga del medio en diferentes tiempos (2, 3 y 4 semanas). Después de la extracción se usó un rota-vapor para separar el solvente. El residuo sólido generado después de la extracción se secó y pesó, obteniendo aproximadamente 11 gramos de sólidos. El porcentaje de aceite se determinó usando la siguiente relación.

$$\%aceite = \frac{P_{\text{muestra}} - P_{\text{sólidos}}}{P_{\text{muestra}}} \times 100\% \quad (4)$$

Resultados y discusión

El crecimiento de las microalgas se observó de forma satisfactoria. La etapa de cosechado de la biomasa se vio limitada al uso de filtración convencional, dejando parte de la biomasa en el medio, debido al tamaño de la microalga (5µm). Los resultados del análisis de porcentajes de humedad, proteína y aceite se resumen en la Tabla 5. Es importante resaltar que dentro de la composición de las muestras obtenidas se encuentra un porcentaje importante de aceite, lo cual demuestra que la producción de biodiesel a partir de este tipo de microalgas tiene potencial. Con la masa de aceite obtenida se realizó la reacción de transesterificación exitosamente; en esta etapa se observó la formación de las fases de la glicerina y los alquil ésteres

| Componente | Porcentaje |
|------------|------------|
| *Humedad | 97.1037 |
| **Proteína | 12.1921 |
| **Aceite | 43.7757 |

Tabla 5 Resultados del análisis bromatológico de la microalga. *Base húmeda, **Base Seca

Conclusiones y recomendaciones

Por medio de este trabajo experimental se ha demostrado que las microalgas son una alternativa interesante para obtener materia prima para biodiesel. Es posible el cultivo de microalgas ricas en aceite, usando como medio agua residual. Este tipo de microalgas pueden ser usadas en la producción de biodiesel.

Como principales recomendaciones de este trabajo se sugiere evaluar la composición de aceite en la microalga durante el periodo de cultivo para determinar el tiempo óptimo para la separación. Se requiere de la comparación y selección de métodos de separación que permitan un mejor aprovechamiento de la biomasa. Por otro lado, es necesario realizar un análisis experimental para determinar las mejores condiciones de reacción que permitan obtener el mejor rendimiento de biodiesel. Además, puede evaluarse la eficiencia de varios solventes para el proceso de extracción de aceites.

Referencias

- Chiu, S.-Y., Kao, C.-Y., Chen, T.-Y., Chang, Y.-B., Kuo, C.-M., & Lin, C.-S. (2015). Cultivation of microalgal *Chlorella* for biomass and lipid production using wastewater as nutrient resource. *Bioresource Technology*, 184, 179-189.
- Endalew, A. K., Kiros, Y., & Zanzi, R. (2011). Heterogeneous catalysis for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil (JCO). *Energy*, 36(5), 2693-2700.
- Huntley, M. E., & Redalje, D. G. (2007). CO₂ mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 12(4), 573-608.

Liu, B., & Zhao, Z. K. (2007). Biodiesel production by direct methanolysis of oleaginous microbial biomass. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82(8), 775-780.

Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 217-232.

Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., Hankamer, B. (2008). Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production. *Bioenergy research*, 1(1), 20-43.

Sharma, Y., Singh, B., & Upadhyay, S. (2008). Advancements in development and characterization of biodiesel: a review. *Fuel*, 87(12), 2355-2373.

Vasudevan, P. T., & Briggs, M. (2008). Biodiesel production—current state of the art and challenges. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 35(5), 421-430.

Vazquez-Duhalt, R., & Arredondo-Vega, B. O. (1991). Haloadaptation of the green alga *Botryococcus braunii* (race A). *Phytochemistry*, 30(9), 2919-2925.

Zeng, X., Guo, X., Su, G., Danquah, M. K., Zhang, S., Lu, Y., Lin, L. (2015). Bioprocess considerations for microalgal-based wastewater treatment and biomass production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1385-1392.

Lixiviación de metales pesados (Fe, Cr) utilizando el Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*), en aguas residuales

HERNANDEZ-ROMERO, Israel*†, ALDANA-MAR, Francisco, RAMIREZ-LEZAMA, Gloria Estefanía, MORALES-CABRERA, Miguel Ángel y RIOS-VELASCO, Lizeth

Recibido 22 de Enero, 2015; Aceptado 16 de Marzo, 2015

Resumen

Lixiviación de metales pesados (Fe, Cr) utilizando el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), en aguas residuales. A través de la fitoremediación aprovechar los procesos biológicos de las plantas, teniendo la capacidad de absorber contaminantes como metales pesados, que por su efecto tóxico afectan, al ambiente, hombre y todos aquellos ecosistemas en que vive un ser vivo. La metodología se basa en la espectroscopia UV-visible utilizando estándares de Fe^3 y Cr^6 con concentraciones de 20, 30 y 40 ppm, adicionando 0.85 g de lirio acuático, tomando muestras cada 10 minutos para que posteriormente se realizaran las lecturas correspondientes en el espectrofotómetro Jenway 7305. Se propone un método que brinda resultados favorables y es económicamente accesible, empleando la técnica de absorción, donde se muestra que el procedimiento es una alternativa para la remoción de metales pesados, utilizando lirio acuático (tratado) responsable de la remoción de metales presentes en el agua. Teniendo como resultados que la remoción de cloruro férrico ($FeCl_3$) tuvo una eficiencia del 55.2% como máximo a comparación con la remoción de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) con una eficiencia del 98.5%.

Lixiviación, lirio acuático, metales pesados, absorción.

Abstract

Leaching of heavy metals (Fe, Cr) using the aquatic lily (*Eichhornia crassipes*) in wastewater. Through phytoremediation use the biological processes of the plants, as having ability to absorb pollutants such as heavy metals, which of her effect toxic hurts the environment, man and all those ecosystems in which they live a living being. The methodology is based on UV-visible spectroscopy using standard Fe_3 and Cr_6 with concentrations of 20, 30 and 40 ppm, adding 0.85 g of aquatic lily (treated), taking samples every 10 minutes for later undertake the corresponding readings in the Jenway 7305 spectrophotometer. It propose a method that gives good results and is economically accessible, using the absorption technique, which shows that the procedure is an alternative to the removal of heavy metals, using the aquatic lily (treated) responsible for the removal of metals present in the water. Having as results that the removal of ferric chloride ($FeCl_3$) it showed effectiveness of 55.2 % as maximum compared with the removal of potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) with an efficiency of 98.5 %.

Leaching, aquatic lily, heavy metals, absorption

Citación: HERNANDEZ-ROMERO, Israel, ALDANA-MAR, Francisco, RAMIREZ-LEZAMA, Gloria Estefanía, MORALES-CABRERA, Miguel Ángel y RIOS-VELASCO, Lizeth. Lixiviación de metales pesados (Fe, Cr) utilizando el Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*), en aguas residuales. Revista de Sistemas Experimentales 2015, 2-2: 88-93

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: zs11005407@estudiantes.uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La importancia del agua es parte esencial de nuestra propia naturaleza física y la de los demás seres vivos, es por esto que la contaminación del agua ha adquirido importancia en los últimos 15 años.

Se tiene como objetivo demostrar los beneficios del lirio acuático (*eichhorniacrassipes*) aplicando sus propiedades de absorción utilizando el método espectrofotométrico, comprobando la remoción de metales pesados por medio de gráficas para demostrar la reducción de las concentraciones, haciendo la evaluación conforme a las normas correspondientes de cada concentración, teniendo como hipótesis que es posible remover metales pesados como el Fe y Cr, presentes en el agua, por medio del lirio acuático.

El método propuesto brinda resultados favorables y es económicamente accesible ya que el lirio acuático se considera actualmente como maleza por su proliferación masiva en lugares con clima húmedo y se distribuye casi en la totalidad del continente americano y parte de los continentes africano, asiático y Oceanía (figura 1).

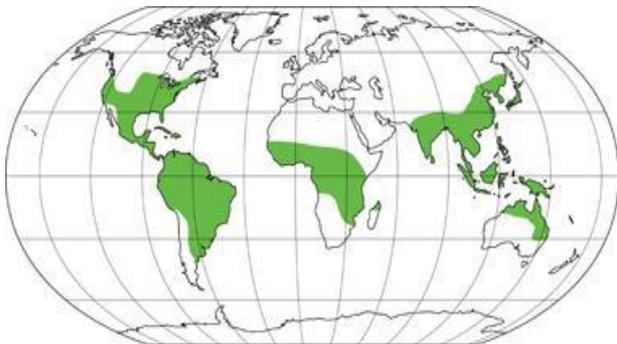


Figura 1 Distribución a nivel mundial (*eichhorniacrassipes*)

Existen diferentes tecnologías para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, e.g., adsorción, cementación, precipitación, intercambio iónico, extracción con solventes y electrodiálisis (Brooks 1991). En procesos de bioadsorción, en donde se utiliza biomasa viva y no viva de diversas plantas terrestres y acuáticas, algas marinas, hongos y bacterias (Chen y col. 2001, Gardea-Torresdey y col. 2004).

En 2009, Nuñez R. et al., estudiaron el lirio acuático para el tratamiento de aguas contaminadas con plomo, obteniendo una eficiencia de bio-absorción de plomo de 77.5%. Recientemente, se ha estudiado el uso de metodologías alternativas, como la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por *Pseudomonas* sp (McLean y Beveridge, 1991), *Desulfobrivio desulfuricans* (Mabbett et. al. 2004), *Candida maltosa* (Ramírez-Ramírez et. al. 2004), la recuperación de Cr (VI) por lirio acuático (Álvarez, et. al., 2004) y la bioadsorción del mismo por biomasa fúngicas (Acosta et.al., 2004).

Metodología

Se llevó a cabo un proceso, por el cual fue elegido el lirio en etapa adulta, se deshidrató y trituró, seguido de esto se preparan dos soluciones patrón una de cromo y otra del hierro, utilizando dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) para el cromo y cloruro férrico ($FeCl_3$) para el hierro. Posteriormente se realizaron soluciones a 10, 20, 30 y 40 ppm para el cloruro férrico y 10, 20, 30, 40 y 50 ppm para el dicromato de potasio para así poder realizar la curva de barrido para conocer la longitud de onda de ambas soluciones.

Se analizaron 6 muestras de cloruro férrico así como de dicromato de potasio a diferentes concentraciones de 20, 30 y 40 ppm, realizando las lecturas correspondientes en el espectrofotómetro Jenway 7305.

Resultados

Realización de longitud de onda FeCl₃

Se calibró el equipo JENWAY 7305 con un blanco, para realizar el barrido de la muestra patrón (FeCl₃) de longitud de onda a un rango de 200 - 300 nm, obteniendo la absorbancia más alta a 230 nm, con la cual se trabajó.

Determinación de la curva de calibración FeCl₃

Para determinar el Cloruro Férrico se realiza una curva de calibración, obteniendo como resultados diferentes absorbancias señaladas en la tabla 1 para realizar un gráfico de dicha curva de calibración donde se observa una correlación de 0.94, lo cual nos indica un 94% de confiabilidad en los resultados (figura 2).

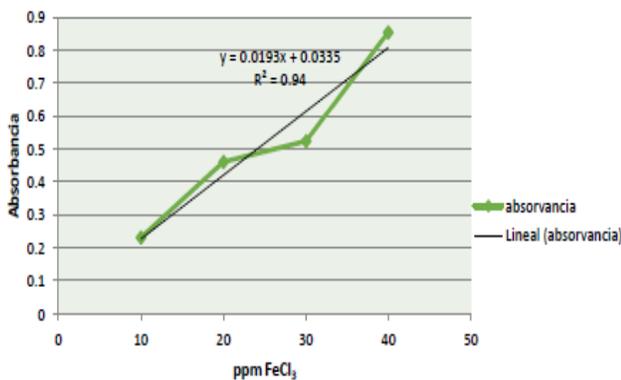


Figura 2 Curva de calibración FeCl₃

Cálculo de la concentración absorbida de la muestra problema (FeCl₃)

A partir de la curva de calibración y su respectiva ecuación se obtienen las concentraciones con las diferentes absorbancias obtenidas. En la tabla 1 se muestra la cantidad absorbida de FeCl₃ por el lirio acuático, así como las concentraciones finales de FeCl₃.

Como se observa en la figura 3.3, el lirio acuático tiene una eficiencia muy considerable para la retención de hierro en solución acuosa.

| Concentración inicial (ppm) | Cantidad absorbida de FeCl ₃ | | |
|-----------------------------|---|---------------------------|--------------------------------------|
| | Porcentaje (%) | Concentración final (ppm) | Calidad Ambiental Descarga Efluentes |
| 40 | 54.7 | 15.310 | 1.0 ppm |
| 30 | 47.1 | 13.497 | |
| 20 | 55.2 | 15.103 | |

Tabla 1 Concentraciones finales de FeCl₃.

Se observaron resultados positivos de un 55.2% de absorción del hierro y utilizando 0.85 g de lirio acuático (tratado) en todas las pruebas, además de que la reacción lleva a su máxima absorción aproximadamente entre los 30 y 40 min. De acuerdo a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga en Efluentes, las concentraciones finales de hierro en las soluciones de cloruro férrico después del tratamiento no se encuentran dentro del límite máximo permisible que es de 1.0 mg/L (ppm). Por lo tanto este método de remoción no es muy eficiente para remoción de este metal.

Resultados de la remoción del Cromo Hexavalente en soluciones de Dicromato de Potasio (K₂Cr₂O₇)

Las soluciones que se prepararon fueron de 20 ppm, 30 ppm y 40 ppm a tratar con lirio acuático.

Realización de longitud de onda del K₂Cr₂O₇

Se procede a calibrar el equipo JENWAY 7305 con blanco, para realizar el barrido de la muestra patrón (K₂Cr₂O₇), para determinar la longitud de onda para la solución de dicromato de potasio a un rango de 300 - 500 nm; obteniendo la absorbancia más alta a 360 nm, con la cual se trabaja.

Determinación curva de calibración de K₂Cr₂O₇

Se realiza una curva de calibración de 10 a 50 ppm, obteniendo como resultado diferentes absorbancias como se señala en la tabla 1.4, para realizar un gráfico de dicha curva de calibración donde se observa una correlación de 0.9916, lo cual nos indica un 99% de confiabilidad en los resultados (figura 3).

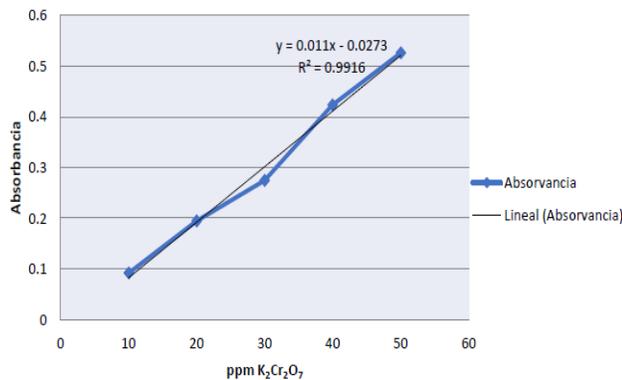


Figura 3 Curva de calibración del Dicromato de Potasio

Cálculo de la concentración absorbida de la muestra problema (K₂Cr₂O₇)

A partir de la curva de calibración y su respectiva ecuación se obtienen las concentraciones con las diferentes absorbancias obtenidas. En la tabla 2 se muestra la cantidad absorbida de K₂Cr₂O₇ por el lirio acuático, así como las concentraciones finales de K₂Cr₂O₇.

En base a lo observado, se puede verificar que el lirio acuático tiene una mayor eficiencia para retener el ion cromo (VI) en solución acuosa a concentraciones elevadas

De acuerdo a la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, el límite máximo permisible de descarga del cromo (VI) es de 0.5 y 1.5 mg/L (ppm), sin embargo la concentración de 20 ppm obtenida después el tratamiento supera el parámetro de la norma, excepto la de 30 y 40 ppm en las cuales se observa que absorben gran parte del cromo (VI). Por lo tanto este método de remoción es muy eficiente para este metal.

| Concentración inicial (ppm) | Cantidad absorbida de K ₂ Cr ₂ O ₇ | | |
|-----------------------------|---|---------------------------|----------------------------|
| | Porcentaje (%) | Concentración final (ppm) | NOM-001-SEMARNAT-1996. LMP |
| 40 | 90.6 | 1.427 | 0.5 - 1.5 ppm |
| 30 | 98.5 | 1 < | |
| 20 | 80.9 | 5.881 | |

Tabla 2 Concentraciones finales K₂Cr₂O₇.

Como se puede apreciar en la tabla 2 la bioabsorción del cromo es del 98.5% a 30 ppm, mejorando lo estudiado por Nuñez R. et al., en 2009 pero con bioabsorción de plomo y con lirio acuático.

Corroborando lo obtenido por Acosta et al. 2005, con un 98% de bioabsorción de cromo pero con la biomasa celular de la levadura capsulada *Cryptococcus neoformans*.

Conclusiones

Es posible remover metales como el Fe y Cr, presentes en agua por medio del lirio acuático.

El lirio acuático tiende a saturarse entre los 30 y 40 minutos durante el proceso, es muy eficaz para reducir cierto tipo de metales presentes en el agua además de que no necesita agentes químicos para degradarlos.

Al comparar los resultados con los parámetros establecidos en las normas, se concluye que el método de absorción es eficiente para la remoción del Cromo (VI), ya que las concentraciones finales son menores al límite máximo permisible que es de 1.50 mg/L. Haciendo la comparación en el caso del hierro la remoción es mínima, aproximadamente de un 55.2%; lo cual es mejor para el cromo con una concentración de 30 ppm ya que tiene un 98.5% de bioabsorción con el lirio acuático. También es importante señalar que absorbe otros metales como el plomo, que es mucho más peligroso.

Referencias

Álvarez, S.G., M. Maldonado, M. Gerth, y P. Kusch. 2004. Caracterización de agua residual de curtiduría y estudio del lirio acuático en la recuperación de Cromo, *Inf. Tecnol*: 15 (3), 75-80.

Brooks C. S. 1991. *Metal recovery from industrial waste*. Lewis Publisher. Michigan, USA. pp. 267.

Chen W., A. Mulchandani y R. Mehra. 2001. Development of novel bioadsorbents for heavy metals removal. *EPA report R827227. National Center for Environmental Research, USA*.

Gardea-Torresdey J. L., G. De la Rosa y J. R. Peralta-Videa. 2004. Use of phytoremediation technologies in the removal of heavy metals: a review. *Pure Applied Chemistry*, 76(4): 801-813.

I. Acosta, M. G. Moctezuma-Zárte, C. Gutiérrez y X. Rodríguez. 2005. Bioadsorción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa Celular de *Cryptococcus neoformans* y *Helminthosporium* sp. *Información Tecnológica-Vol. 16 N°1-2005*, págs.: 11-15

Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos, Editorial Productiva, Ramón Sans Fonfria, Joan de Pablo Rivas, Pág. 93-95.

Mabbett, A., Y. Ping, J. Peter, G. Farr, y L. Macaskie. 2004. Reduction of Cr (VI) by palladized" biomass of *Desulfovibrio desulfuricans* ATCC 29577. *Biotechnology and Bioengineering*, 87 (1), 104-109.

McLean, J. y T.J. Beveridge. 2001. Chromate reduction by a pseudomonad isolated from a site contaminated with chromated copper arsenate, *Appl Environ Microbiol*: 67, 1076-1084.

Núñez López Roberto Aurelio, Meas Vong Yunny, Ortega Borges Raúl, Eugenia J. Olguin. 2009. Rizofiltración, lixiviación y electrorecuperación: una propuesta integral para el tratamiento de aguas contaminadas con plomo a partir del lirio acuático (*eichhornia crassipes*). *Ciencia@UAQ*. 2(1): 17 – 31.

Ramírez-Ramírez, R., C. Calvo-Méndez, M. A. Avila-Rodríguez, P. Lappe, M. Ulloa, R. Vázquez-Juárez y J.F. Gutiérrez-Corona. 2004. Cr(VI) reduction in a Chromate-resistant strain of *Candida maltosa* isolated from the leather industry, *Antonie van Leeuwenhoek*: 85, 63-68.

Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas Poblaciones, 2000. Crites, TChanoglous. Mac Graw Hill. pp 21 – 74.

Instrucciones para Autores

A. Envío de artículos con las áreas de Energía Química y Física

B. La edición del artículo debe cumplir las siguientes características:

- Redactados en español o en inglés (preferentemente). Sin embargo, es obligatorio presentar el título y el resumen en ambos idiomas, así como las palabras clave.

- Tipografía de texto en Times New Roman #12 (en títulos- Negritas) y con cursiva (subtítulos- Negritas) #12 (en texto) y # 9 (en citas al pie de página), justificado en formato Word. Con Márgenes Estándar y espaciado sencillo.

- Usar tipografía Calibre Math (en ecuaciones), con numeración subsecuente y alineación derecha: Ejemplo;

$$\sigma \in \Sigma: H\sigma = \bigcap_{s < \sigma} Hs \quad (1)$$

- Comenzar con una introducción que explique el tema y terminar con una sección de conclusiones.

- Los artículos son revisados por los miembros del Comité Editorial y por dos dictaminadores anónimos. El dictamen será inapelable en todos los casos. Una vez notificada la aceptación o rechazo de un trabajo, su aceptación final estará condicionada al cumplimiento de las modificaciones de estilo, forma y contenido que el editor haya comunicado a los autores. Los autores son responsables del contenido del trabajo y el correcto uso de las referencias que en ellos se citen. La revista se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los textos a nuestra política editorial.

C. Los artículos pueden ser elaborados por cuenta propia o patrocinados por instituciones educativas ó empresariales. El proceso de evaluación del manuscrito no comprenderá más de veinte días hábiles a partir de la fecha de su recepción.

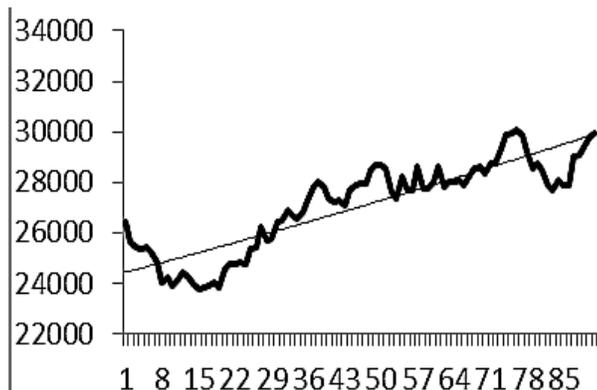
D. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de selección sea anónimo.

E. Los cuadros, gráficos y figuras de apoyo deberán cumplir lo siguiente:

- Deberán explicarse por sí mismos (sin necesidad de recurrir al texto para su comprensión), sin incluir abreviaturas, indicando claramente el título y fuente de consulta con referencia abajo con alineación izquierda en tipografía número 9 con negritas.

- Todo el material de apoyo será en escala de grises y con tamaño máximo de 8cm de anchura por 23cm de altura o menos dimensión, además de contener todo el contenido editable

- Las tablas deberán ser simples y exponer información relevante. Prototipo;



Gráfica 1. Tendencia determinista versus estocástica

F. Las referencias bibliográficas se incorporarán al final del documento con estilo APA.

La lista de referencias bibliográficas debe corresponder con las citas en el documento.

G. Las notas a pie de página, que deberán ser usadas sólo excepcionalmente para proveer información esencial.

H. Una vez aceptado el artículo en su versión final, la revista enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN-Bolivia únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del artículo. El autor tendrá un plazo máximo de 10 días naturales para dicha revisión. De otra forma, se considera que el (los) autor(es) está(n) de acuerdo con las modificaciones hechas.

I. Anexar los Formatos de Originalidad y Autorización, con identificación del Artículo, autor (s) y firma autógrafa, de esta manera se entiende que dicho artículo no está postulado para publicación simultáneamente en otras revistas u órganos editoriales.

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Bolivia a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Bolivia to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

ISSN-2410-3950



www.ecorfan.org