



Una formación de calidad  
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias  
15 al 18 de Septiembre de 2015

# DEGRADABILIDAD DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD -LDPE- UTILIZANDO *Pycnopus sanguineus* UTCH 03

Adriana M. Quinchía Figueroa, Simón Maya Correa

Escuela de Ingeniería de Antioquia  
Envigado, Colombia

## Resumen

En el presente estudio se analizó el potencial de biodegradación del polietileno de baja densidad LDPE a partir de la actividad del hongo *Pycnopus sanguineus* UTCH03. Para realizar las pruebas se tomó el polietileno de baja densidad (LDPE) como parte del sustrato de crecimiento en fase sólida estableciendo a escala de laboratorio, condiciones óptimas de crecimiento del organismo, tales como temperatura, humedad y porcentaje de polímero en los medios de cultivo. La degradación del polímero, lograda a partir de la generación de micelio y la capacidad de emplear parte de la superficie de éste como fuente de carbono, fue medida durante 6 meses, considerando tanto el material en pellets como en laminados comerciales. La verificación de la biodegradación se realizó por medio de pruebas de gravimetría, registro de cambios superficiales en el material por medio de Microscopía Electrónica de Barrido - SEM, cambios en los grupos funcionales superficiales mediante Espectrofotometría Infrarroja por Transformada de Fourier - FTIR y cambios en la cristalinidad a través de pruebas de Calorimetría Diferencial de Barrido - DSC. Los resultados de estas pruebas permiten corroborar que el hongo utiliza el polímero como fuente de carbono y su crecimiento genera cambios comprobables en una medida de tiempo corta comparada con las proyecciones de vida útil del material.

**Palabras clave:** LDPE; biodegradación; *Pycnopus sanguineus*

## Abstract

*In this study was analyzed the potential aptitude to biodegradation of measurement low-density polyethylene under the activity of the ligninolytic fungi Pycnopus sanguineus UTCH03. To develop were used LDPE as a part of substrate to the strain of the ligninolytic fungi. Were developed essays in solid-state aerated fermentation to establish the optimal growth conditions, as temperature, humidity and percentage of*

*the polymer into the substrates. The degradation of polymers, achieved by the capacity of the fungus to grow and generate mycelium over polymer surface, using as a carbon source. The essay was measured for 6 months, using pellets and commercial films. The biodegradation verification was made by gravimetric test on samples that had direct contact with fungi, another way was the measurement of superficial changes by SEM test, and other one, was the changes on the functional groups using the DSC tests. The results show that the fungi use the polymers as a carbon source, generating a reduction of the time that this materials remain in the environment.*

**Keywords:** LDPE; biodegradation; *Pycnoporus sanguineus*

## 1. Introducción

Los polímeros desde principios del siglo XX han constituido un avance importante para la ciencia y la industria al dar respuesta a una cantidad considerable de necesidades para los consumidores y los procesos productivos. Los polímeros facilitan condiciones de transporte y almacenamiento con altos estándares mecánicos y de asepsia, permitiendo un recambio fácil y económico de empaques y embalajes. Este alto uso de polímeros, asociado al poco tiempo de servicio de productos fabricados con ellos, contrasta con su alta resistencia a la degradación y baja asimilación de estos materiales por parte del medio natural; el resultado de este balance es una gran cantidad de plásticos no degradables, acumulados en la superficie del planeta (Perdomo, 2002).

Uno de los polímeros más empleado es el Polietileno de baja densidad LDPE, su uso se incrementa permanentemente debido a la diversidad de aplicaciones con que cuenta en el mundo moderno como juguetes, bolsas plásticas, películas aislantes, utensilios desechables, botellas retornables, entre otros. Este material presenta una prolongada persistencia, lo que trae como resultado su acumulación en múltiples ecosistemas, generando problemas estéticos, biológicos y ambientales (Arutchelvi et al., 2008; Koutny, 2006). Considerando estas condiciones, surge la necesidad de encontrar alternativas frente a la situación planteada y es así como, desde la ingeniería, se han realizado avances en la generación de nuevos materiales aplicando el reprocesamiento y reciclaje de polímeros para su reintegro a la cadena productiva o en la generación de plásticos con menor resistencia a la degradación en el medio (Posada 1994); de otro lado, la biología plantea la opción de aplicar conceptos biotecnológicos en la asimilación por parte de los organismos, de materiales recalcitrantes como una solución viable ante múltiples problemas técnicos y ambientales con los avances en el uso de microorganismos para el manejo de diversos problemas (Koutny et al., 2006).

En este trabajo se llevó la verificación a escala de laboratorio, de la capacidad del hongo *Pycnoporus sanguineus* UTCH03 en la aceleración de la degradación del LDPE, las pruebas realizadas permitieron corroborar el planteamiento presentado por Kumar (2009), Zahra (2010) y Arutchelvi (2008), donde se presenta la capacidad de diversos

microorganismos de depolimerizar compuestos de alto peso molecular como un punto de partida para la degradación y asimilación por parte de otros organismos del medio. La innovación de este trabajo se centra en el empleo de una cepa nativa, que no ha sido reportada en la literatura actual en procesos de degradación de materiales poliméricos, con resultados promisorios frente a los ensayos realizados.

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1 Materiales**

El polietileno de baja densidad (LDPE) empleado se obtuvo en forma de pellets y bolsas plásticas comerciales, de las cuales se extrajeron las láminas de 5cm x 5cm. Las semillas de sorgo como parte orgánica del sustrato, contaron con hidratación previa durante 24 horas en agua destilada. La cepa *Pycnoporus sanguineus* UTCH03 fue donada por la Universidad Tecnológica del Chocó y los sustratos empleados para su crecimiento fueron agar Sabouradud 4% y el bacto agar, marca Merck.

### **2.2 Equipos experimentales y herramientas de caracterización**

Para los procesos de esterilización y limpieza, se empleó una autoclave Gemmy SA232X, balanza analítica Kern ABS 220-0,1 e incubadora marca MERT U40. Para la determinación de condiciones de degradación, se emplearon, un espectrofotómetro de infrarrojo con transformada de Fourier -FTIR- Perkin Elmer Spectrumm 100 y un calorímetro diferencial de barrido Jade DSC, marca Perkin Elmer; las microscopías electrónicas de barrido para verificar cambios físicos del material se realizaron en un equipo JEOL 6490 LV.

### **2.3 Condiciones de crecimiento del hongo**

La cepa fue cultivada durante 21 días bajo condiciones de sustrato con polímero y sorgo hidratado y sin hidratar, temperaturas de 10 y 22°C y diferentes concentraciones del polímero dentro del sustrato, el cual varió entre 0% y 89%.

### **2.4 Condiciones de la biodegradación**

El sustrato estuvo compuesto por 67% de LDPE en forma de pellets y láminas y 33% de sorgo en una fase sólida aireada, con siembra de la cepa por inóculo; el almacenamiento se llevó a cabo en temperatura de 22°C en incubadora y después de 6 meses se realizaron los análisis de cambios en el material.

### **2.5 Evaluación de la degradación**

El cambio gravimétrico, se realizará a partir de las láminas incorporadas en el sustrato las cuales se pesaron al inicio y al final de la prueba para registrar los cambios de peso a los 6 meses de incubados. Para el pesaje final las láminas fueron lavadas con agua destilada y etanol.

Antes y después de 6 meses de crecimiento del hongo sobre el sustrato, se analizaron los cambios en las muestras por medio de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR), los cuales permiten identificar cambios en sus grupos funcionales superficiales del material. Se tomaron como blancos materiales estériles expuestos a las mismas condiciones que los reactores inoculados. Las muestras fueron láminas superficiales de los pellets del polímero y de las láminas comerciales que tuvieran contacto con el hongo. Las evidencias de cambios se registraron mediante microscopia electrónica de barrido (SEM). Finalmente se evaluaron cambios en condiciones cristalinas del material como indicios de degradación del mismo. Se tomaron muestras entre 10 y 13 mg y se sometieron a temperaturas entre  $-20.0$  y  $200^{\circ}\text{C}$  con rampas de calentamiento y enfriamiento de  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , en un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC).

### 3. Resultados y discusión

Se determinó que el contenido de humedad en el sustrato tuvo un efecto directo sobre el crecimiento del hongo tal como se observa en la Figura 1; así mismo se pudo establecer que el sustrato compuesto por 67% de polímero y 33% de sorgo a  $22^{\circ}\text{C}$ , ofrece las mejores condiciones de crecimiento y adaptabilidad del hongo, resultados similares a los reportados por Roussos et al (1996). Mediante un análisis de varianza (Gutierrez, 2008), se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los contenidos de humedad, concentración del polímero en el sustrato y la temperatura del crecimiento. En la Figura 2 se observan las imágenes comparativas del crecimiento del hongo bajo diferentes condiciones de temperatura y concentración de polímero; el crecimiento se midió por porcentaje de invasión del sustrato, encontrando que a  $22^{\circ}\text{C}$ , el porcentaje de invasión superó el 90% en un lapso de 21 días, mientras que cuando la temperatura de crecimiento fue de  $10^{\circ}\text{C}$ , el máximo crecimiento llegó apenas a un 32%.

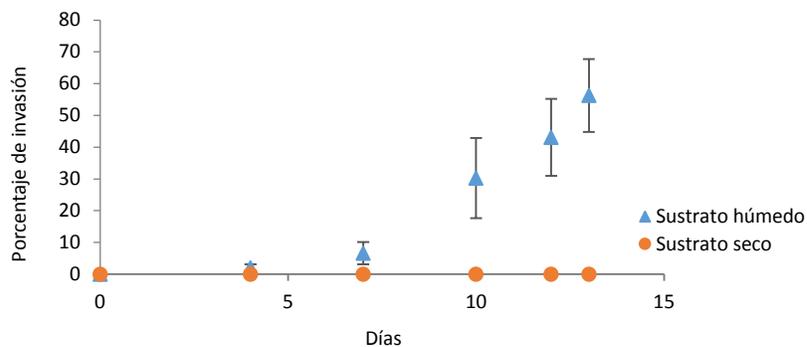


Figura 1. Crecimiento del Hongo en diferentes contenidos de humedad

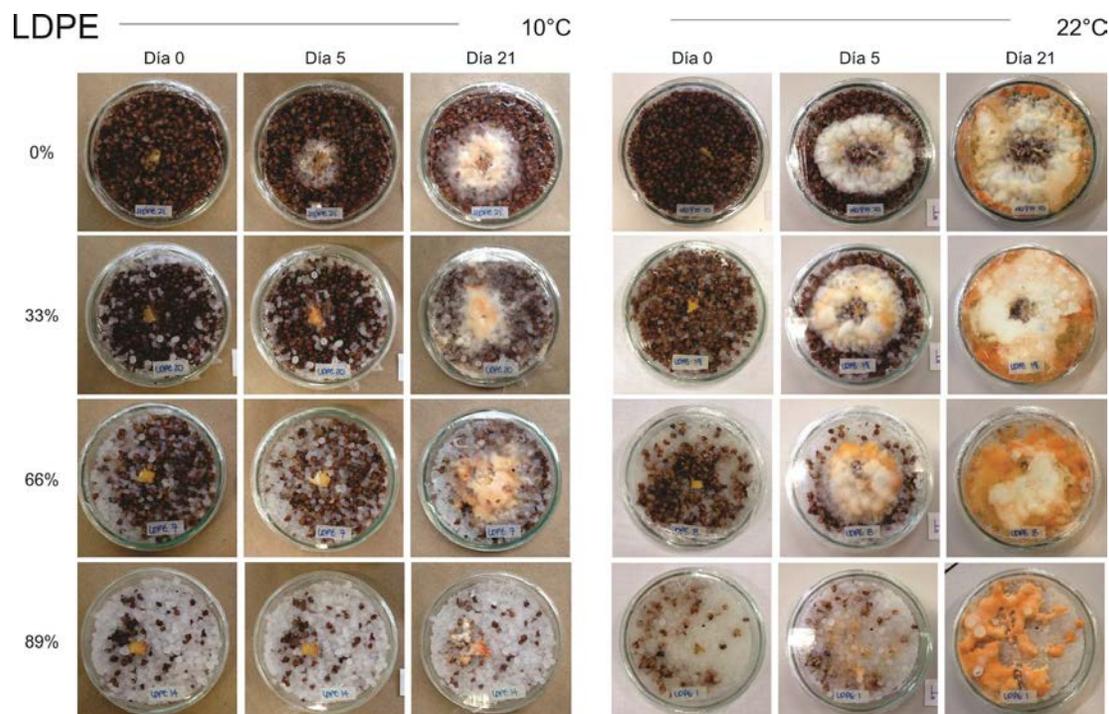


Figura 2. Comportamiento del hongo a diferentes porcentajes de polímero y temperaturas de 10°C y 22°C

A partir de las condiciones de mayor crecimiento de la cepa, se realizaron montaje en reactores de fase sólida los cuales mantuvieron el crecimiento del hongo durante 6 meses, el sustrato contó con 67% de polímero y se realizó siembra por inóculo. Al finalizar el tiempo de incubación, las hifas del hongo cubrieron por completo el sustrato, el cual fue analizado por varios métodos encontrando rastros visibles de degradación en el tiempo estudiado. El cambio en el peso de las láminas alcanzó un  $0,66 (\pm 0,051)$ , registro que supera lo reportado por autores como Nowak et al (2011) y Sudhakar (2008). Las imágenes de FTIR permiten encontrar una diferencia entre las muestras con inóculo y sin él (blanco), en la Figura 3 se observan un incremento en la intensidad de las bandas entre  $1200 - 1300 \text{ cm}^{-1}$ , lo que puede atribuirse a diferentes productos de oxidación que indican la biodegradación del polietileno, tal como lo reportan Nowak et al, (2011), Sudhakar et al (2008) y Zahra et al (2010); el incremento en la banda  $1073 \text{ cm}^{-1}$  corresponde a la vibración generada por la formación de enlaces  $\text{C}=\text{O}$  y  $-\text{OH}$  y en  $2917 \text{ cm}^{-1}$  propia de vibraciones por enlaces  $\text{C}-\text{H}$  con distorsiones por acción del hongo (Das & Kumar, 2014). Así mismo se presentan cambios de todas las bandas entre  $800$  y  $1400 \text{ cm}^{-1}$  lo que muestra que el polímero ha tenido modificaciones por la acción del microorganismo y entre  $1700$  y  $1800 \text{ cm}^{-1}$ , se puede observar, la aparición de nuevos grupos, que pueden ser asignados a aldehídos, cetonas, ácidos y ésteres, provenientes de la degradación, (Nowak et al., 2011)

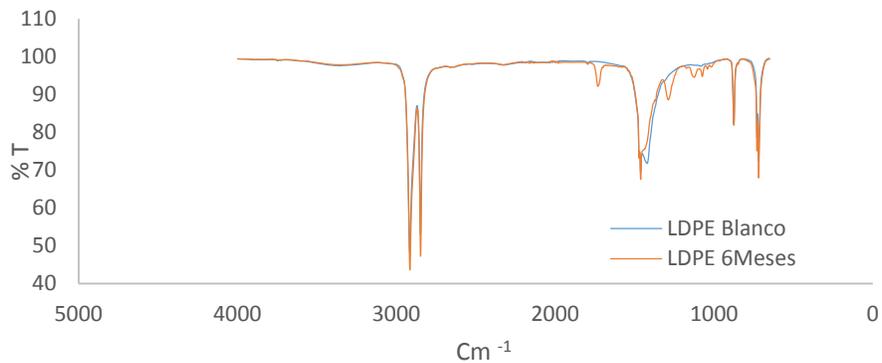


Figura 3 Espectro de FTIR de LDPE en presencia de la cepa del hongo y ausencia de ella (LDPE blanco)

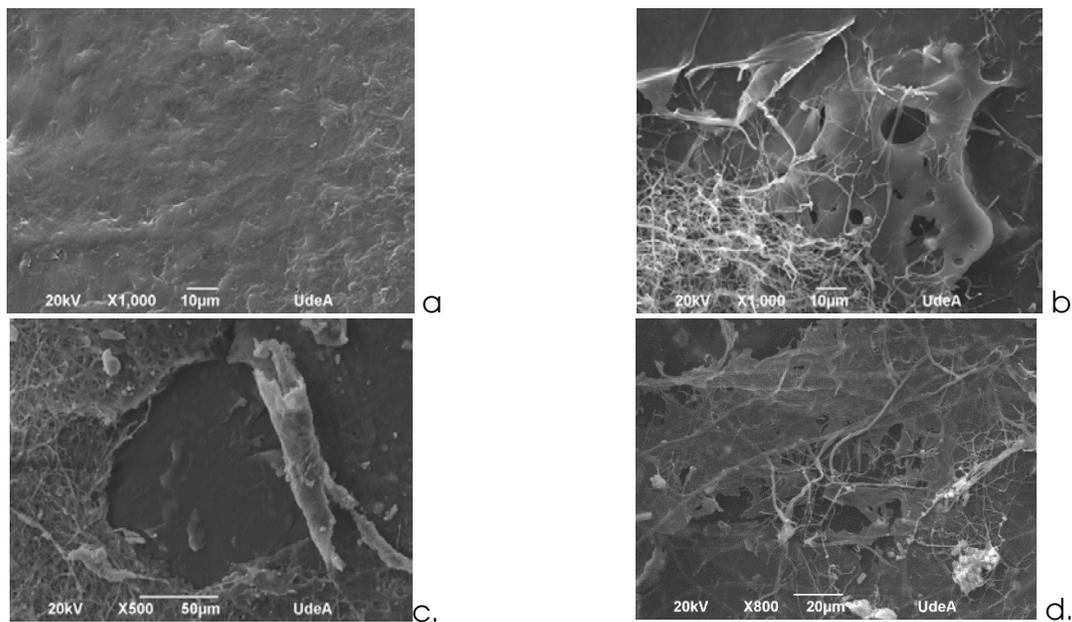


Figura 4. Imágenes de SEM de lámina de LDPE con 6 meses de incubación. a. superficie de LDPE incubado sin presencia del hongo; b, c y d. LDPE incubado con presencia del hongo.

Las imágenes de microscopía electrónica de barrido (Figura 4) muestran una superficie sin defectos después de 180 días de almacenamiento sin presencia del hongo, lo que es comparable con la imagen 4b. en la cual se observan cavidades y fracturas que sugieren penetración del hongo en el polímero, además se observan estructuras reproductivas del hongo y crecimiento a partir de esporas, de forma similar a lo reportado por Pramila et al (2011), Kumar (2013), Nowak et al (2011) y Zahra et al (2010). En cuanto a los cambios en la cristalinidad, el análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) muestra un leve corrimiento a la izquierda del espectro de muestras iniciales, comparadas con aquellas expuestas durante 6 meses a las actividades biológicas del hongo y la temperatura de fusión pasó de 116,50 a 115,23°C, lo que puede ser comparado con lo reportado por Benítez et al (2013), quienes sugieren que esta variación puede ser entendida como un debilitamiento en los enlaces del polímero, debido a procesos de bio-degradación.

#### 4. Conclusión

Bajo condiciones de laboratorio, el hongo *Pycnoporus sanguineus* UTCH03 se adapta a un sustrato con sorgo y LDPE logrando llevar a cabo el desarrollo de hifas y esporas como proceso biológico natural de poblamiento de la superficie del material, así mismo se observa una coloración naranja típica de la producción de la enzima cinabarina, la cual se encuentra asociada a la producción de lacasa, enzimas participantes en procesos de degradación de polímeros naturales de alto peso molecular (Acosta-Urdipelleta, 2010), esta evidencia sugiere actividad microbiana y el consumo de carbono a partir del sustrato, para incluirlo en su metabolismo, generando una depolimerización del mismo. El cambio producido en la superficie del polímero constitutivos del sustrato, fue corroborado mediante pruebas de SEM, FTIR, Gravimetría y de DSC y presentadas en este estudio.

#### 5. Agradecimientos

Se hace un agradecimiento especial a la Escuela de Ingeniería de Antioquia por su apoyo económico para el desarrollo de este proyecto; a la Universidad Tecnológica del Chocó -UTCH por haber brindado la cepa del hongo *Pycnoporus sanguineus* utilizado en este proyecto y a las dependencias de laboratorios e investigación de la EIA por el soporte a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

#### 6. Referencias

##### Artículos de revistas

- Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkar, A., Doble, M., Bhaduri, S., & Uppara, P. V. (2008). Biodegradation of polyethylene and polypropylene. *Indian Journal of Biotechnology*, Vol 7(January), pp. 9-22.
- Benítez, A., Sánchez, J. J., Arnal, M. L., Müller, A. J., Rodríguez, O., & Morales, G. (2013). Abiotic degradation of LDPE and LLDPE formulated with a pro-oxidant additive. *Polymer Degradation and Stability*, Vol 98, No2, pp. 490-501.
- Das, M. P., & Kumar, S. (2014). Microbial deterioration of low density polyethylene by *Aspergillus* and *Fusarium* sp. *International Journal of ChemTech Research*, Vol 6, No1, pp. 299-305.
- Koutny, M., Lemaire, J., & Delort, A.-M. (2006). Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives. *Chemosphere*. Vol 64, pp. 1243 - 1252
- Nowak, B., Pająk, J., Drozd-Bratkowicz, M., & Rymarz, G. (2011). Microorganisms participating in the biodegradation of modified polyethylene films in different soils under laboratory conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol 65, pp. 757-767.
- Perdomo, G. (2002). PLÁSTICOS Y MEDIO AMBIENTE. *Revista Iberoamericana*. Retrieved Vol 3, No 2, pp. 1-13
- Ponce Andrade, G. I., Vázquez Duhalt, R., Rodríguez Vázquez, R., Medina Ramirez, I. E., Lozano Álvarez, J. A., Jáuregui Rincón, J., Electrónica, M. (2012).

Evidencia de La Biodegradación de Resinas Fenólicas con Hongos Ligninolíticos Por Microscopía Electrónica De Barrido. Revista Internacional Contaminación Ambiental, Vol 28, No2, pp. 159-166.

- Posada B, B. (1994). La degradación de los plásticos. Revista Universidad EAFIT. No 94, pp. 67 - 86
- Pramila, & Ramesh, K. V. (2011). Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by fungi isolated from marine water- a SEM analysis. African Journal of Microbiology Research, Vol 5, No 28, pp. 5013-5018.
- Sudhakar, M., Doble, M., Murthy, P. S., & Venkatesan, R. (2008). Marine microbe-mediated biodegradation of low- and high-density polyethylenes. International Biodeterioration and Biodegradation, Vol 61, No3, pp. 203-213.
- Zahra, S., Abbas, S., Mahsa, M., & Mohsen, N. (2010). Biodegradation of low-density polyethylene (LDPE) by isolated fungi in solid waste medium. Waste Management, vol 30, pp. 396-401.

### Libros

- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos (Segunda Ed). México D.F.

### Fuentes electrónicas

- Acosta-Urdapilleta, L., Paz, G. A. A. P., Rodríguez, A., & Adame, M. (2010). *Pycnoporus sanguineus*, un hongo con potencial biotecnológico. -Consumo de Los Hongos, 531-562. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Pycnoporus+sanguineus,+un+hongo+con+potencial+biotecnol?gic#0>
- Kumar, S. (2013). Biodegradation of Low Density Polyethylene Films (Ldpe) Using Microbes. Department of Industrial Biotechnology. Bharath University. 1-119 from <http://www.ijppsjournal.com/Vol5Issue4/7854.pdf>
- Roussos, S., & Perraud-Gaime, I. (1996). Fisiología y bioquímica de microorganismos utilizados en procesos de fermentación en medio sólido. Galindo (Ed). Retrieved from [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_6/b\\_fdi\\_45-46/010006834.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_45-46/010006834.pdf)

### Sobre los Autores

- **Adriana M. Quinchía Figueroa:** Ingeniera Agrícola, Especialista y Magister en Ingeniería Ambiental, PhD. en Ingeniería; Docente investigadora Asociada de la EIA, Grupo de investigación Sostenibilidad Infraestructura y Territorio -SITE- . [aquinchia@eia.edu.co](mailto:aquinchia@eia.edu.co)
- **Simón Maya Correa:** Ingeniero Ambiental, Investigador Auxiliar EIA, Grupo de investigación Sostenibilidad Infraestructura y Territorio -SITE- [simon.maya.correa@gmail.com](mailto:simon.maya.correa@gmail.com)

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)