

## EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE LODOS PAPELEROS COMO CARGAS EN MATERIALES POLIMÉRICOS

Adriana M. Quinchía-Figueroa<sup>1\*</sup>, Marco Valencia-García<sup>2</sup>, Juliana Uribe Castrillón<sup>3</sup>

1: PhD. Ing. Grupo IGEA Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2: PhD. Ing. Grupo MAPA Escuela de Ingeniería de Antioquia. 3: Ing. Grupo IGEA Escuela de Ingeniería de Antioquia. Envigado, Colombia

\* Contacto: aquinchia@eia.edu.co

### RESUMEN

El tratamiento de efluentes de la industria de papel suave, genera un residuo denominado “lodo”, el cual es una mezcla de caolín y fibras de celulosa; debido a la permanente generación de este residuo y a la carga ambiental que representa su disposición, por su comportamiento bajo cargas compresivas y altos contenidos de humedad, se hace necesario plantear soluciones para su aprovechamiento. En este estudio, se evaluó la incorporación del lodo de papel como carga en materias primas poliméricas. Para el desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta materiales como polivinil cloruro cristal (PVC), polietileno (PE) y resinas poliéstericas (RP). Los ensayos se basaron en la sustitución de carbonato de calcio por el lodo, teniendo en cuenta los porcentajes empleados en la industria. El lodo se aplicó bajo dos condiciones: lodo crudo, húmedo y sin moler para el PVC y seco y molido para mezclar con RP y PE. Las pruebas ejecutadas fueron flexión (ASTM D-790), dureza Barcol (ASTM D-2583), tracción (ASTM D-638) y abrasión. Los resultados de las pruebas mostraron que el lodo puede reemplazar la carga tradicional, sin comprometer la calidad del producto. Este proyecto ofrece una valorización de los residuos papeleros, ampliando su ciclo de vida, acrecentando la capacidad de los rellenos sanitarios e igualmente permite que la industria genere procesos y materiales ecológicos.

**Palabras Clave:** *Lodos Papeleros, Valorización, Residuos Industriales.*

### ABSTRACT

Effluent treatment of tissue paper industry generates a waste called "sludge," which is a mixture of kaolin and cellulose fibers. The continuous generation of this residue and its environmental charge due to its final disposition, because of their behavior under compressive loads and high moisture content, make it necessary to propose solutions for its use. In this study, we evaluated the incorporation of the paper sludge as filler in polymeric materials. For the development of the research it was taken into account materials such as crystal polyvinyl chloride (PVC), polyethylene (PE) and polyester resins (RP). The tests were based on replacing the calcium carbonate by the sludge, considering the percentages used in the industry. The sludge was applied under two conditions: raw sludge, moist and without grinding for PVC, and dried and grounded to mix with RP and PE. Bending tests were performed (ASTM D-790) Barcol hardness (ASTM D-2583), strength (ASTM D-638) and abrasion. The results showed that sludge can replace traditional load without compromising product quality. This project provides a recovery of paper waste, extending their life cycle, increasing the capacity of landfills and also allows the industry to generate ecological processes and materials.

**Keywords:** *Paper Sludge, Recycling, Industrial Waste*

## **1 INTRODUCCIÓN**

La industria productora de papel tissue cuenta con plantas de tratamiento para sus efluentes, las cuales permiten remover la carga contaminante de sus aguas; estos sistemas generan un residuo denominado “lodo”, el cual es una mezcla de sólidos sedimentados a base de caolín y fibras de celulosa fundamentalmente [1- 4].

En la actualidad se han estudiado múltiples alternativas de valorización entre las cuales se incluyen aplicaciones como aditivo en mezclas de concreto, absorbentes de materiales peligrosos, aplicación directa al suelo y combustión entre otras; en Medellín, aplicaciones como producción de ladrillos, compostaje, recuperación de suelos degradados, camas avícolas y equinas, se consume anualmente un bajo porcentaje de la producción, dejando una gran parte para su disposición final [5, 6]. Esta situación ha despertado el interés en proponer alternativas de valorización que generen un consumo para aplicaciones novedosas, es así como dadas las características del lodo paplero en los últimos años se ha propuesto el uso de fibras de celulosa y similares como carga en materiales compuestos de matrices poliméricas. [3, 7, 8].

En este sentido se estudió la posibilidad de sustituir la carga que industrialmente se emplea en polímeros comerciales con lodos de papel, y se evaluaron propiedades importantes para aplicaciones con polímeros de alto uso como polivinil cloruro cristal (PVC), polietileno (PE) y resinas poliestéricas (RP), en la elaboración de materias primas para la industria del calzado, las maderas plásticas, construcción y decoración, entre otros.

El desarrollo de esta nueva aplicación implica un estudio tanto del lodo, como de las posibles mezclas con polímeros; así mismo se evaluaron las propiedades de cada una de ellas como parámetro de comparación con materiales que se encuentran disponibles en el comercio.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

El lodo de papel fue suministrado por la empresa Familia S.A; el PE utilizado es producto del reciclado de cajas, baldes, mangueras, etc. el cual fue proporcionado por la empresa Ecoplast del municipio de Rionegro (Antioquia), mientras que el PVC, el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y la RP son los que se emplean actualmente en la industria.

Para la elaboración de las probetas se emplearon dos extrusoras; la primera para las piezas de polietileno, con mezclas de lodo al 50% y con zonas de calentamiento de 180°, 190° y 200°C a una velocidad del tornillo extrusor de 95 rpm; mientras que la segunda fue dispuesta para elaboración de pellets, utilizando mezclas comerciales de PVC (90%)/ $\text{CaCO}_3$ (10%) y las muestras a estudiar de PVC (80%)/Lodo(20%) con temperaturas de calentamiento de 110°, 115°, 125°, 130° y 135°C a una velocidad del tornillo extrusor de 120 rpm. Para la conformación de piezas de PVC /lodo se usó una inyectora con zonas de calentamiento de 125°, 130°, 135°, 140°C a velocidad del tornillo de 120 rpm. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

### 3 PROCESO

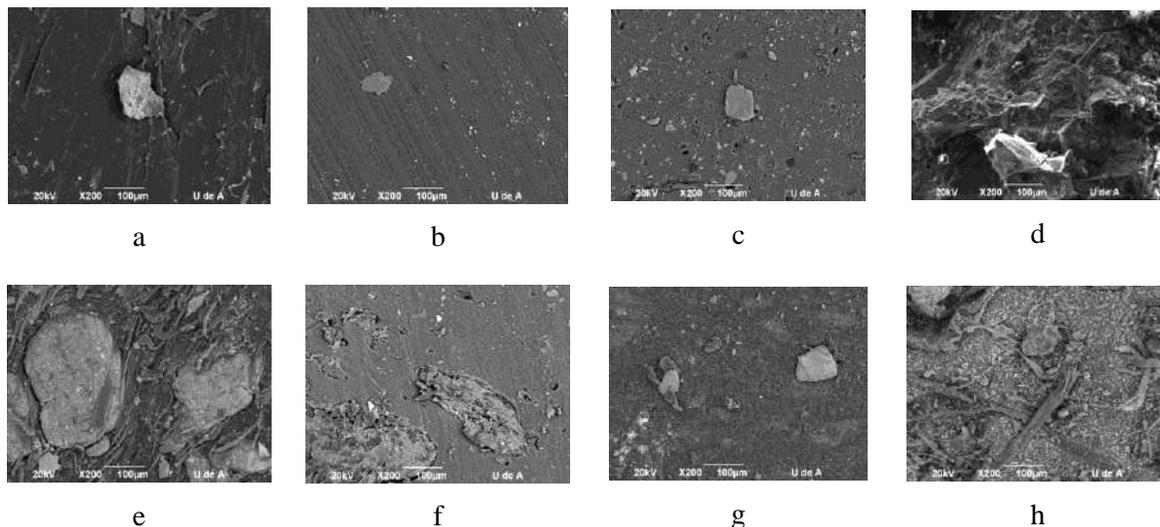
#### 3.1 Caracterización del material

La caracterización del lodo y de las mezclas, se basó en pruebas de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) y de microscopía electrónica de barrido (SEM) (Figura 1), para establecer la morfología y algunas variaciones a partir de las diferentes mezclas lodo/polímero y lodo/resina de sus muestras de referencia.

El espectro de absorción del lodo, permite caracterizarlo como un material con contenido de grupos carboxilos, cadenas cerradas de carbono sin dobles enlaces lo que posiblemente está asociado a moléculas de celulosa.

La prueba de FTIR para el lodo presenta una vibración débil, característica de grupo OH en el punto  $3336,26\text{ cm}^{-1}$ , que se corrobora más adelante con un pico de absorción en  $2905\text{ cm}^{-1}$ , ambos ubicados en la región del hidrógeno. Se presenta en esta región ( $4000 - 2700\text{ cm}^{-1}$ ) enlaces simples del tipo alcano o alqueno. En la región de huella digital ( $1500 - 400\text{ cm}^{-1}$ ), se presenta un pico en  $1416,87\text{ cm}^{-1}$  con enlaces CH-OH, presencia de los grupo etilo, n-propilo, esterés y alcohol secundario en el pico  $1159,21\text{ cm}^{-1}$ . Esta información se corrobora con el pico en  $1030,66\text{ cm}^{-1}$  propio de alcohol primario y esterés. Alrededor de  $873,05$  se presenta una vibración que indica concentración de etilo y n-propilo en la molécula.

En cuanto a la morfología superficial de las muestras presentadas en la Figura 2, se observan las imágenes de microscopía electrónica de barrido, donde se aprecian espacios porosos propios de materiales celulósicos 1h. las figuras 1a, 1b, 1c y 1d son las muestras tomadas como patrones de referencia teniendo en cuenta materiales y cargas comerciales. Las figuras 1e, 1f, y 1g son las mezclas del lodo con los materiales propuestos, en ellas se evidencia una buena adhesión interfacial entre las fibras de lodo y las matrices poliméricas.



**Figura 1.** Imágenes de SEM de las mezclas: a. PE; b. PVC; c.  $\text{CaCO}_3/\text{PVC}$ ; d.  $\text{CaCO}_3 + \text{FV}/\text{RP}$ ; e. lodo/PE; f. lodo/PVC; g. Lodo/RP; h. lodo

### 3.2 Elaboración de las probetas

Para la fabricación de las probetas, se tomó el lodo bajo dos formas:

- Lodo crudo, húmedo y sin moler, mezclado con el PVC en una proporción de 20/80, la cual se comparó con la mezcla de uso comercial de CaCO<sub>3</sub>/PVC (10/90) y PVC al 100%.
- Lodo seco, molido, y tamizado por malla #30 (TAPPI 257), el cual se mezcló con PE y RP en una proporción de 50/50, tomando como blancos el PE al 100%, y el compuesto por RP/ CaCO<sub>3</sub> + fibra de vidrio (en proporción 50/50).

## 4 RESULTADOS

Para determinar las características de las probetas conformadas se realizaron pruebas de flexión, tracción, fricción, dureza y densidad, bajo los estándares de la ASTM. Los resultados se muestran en la Tabla 1 donde se pueden apreciar los valores alcanzados para dichas pruebas.

De las combinaciones realizadas del lodo con las materias primas poliméricas, se pudo observar que con polímeros como el PE, la adición de cargas genera una reducción de las propiedades mecánicas. Para el caso del PVC, la variación en las propiedades mecánicas permite concluir que el lodo puede reemplazar la carga que se utiliza industrialmente, como lo es el carbonato de calcio, teniendo en cuenta que la cantidad de lodo fue duplicado con respecto a la carga tradicional. En cuanto a la mezcla de lodo/RP, se puede concluir que el principal cambio se observa en el aumento de la resistencia a la flexión, de forma similar a lo reportado en la literatura [9, 10]. Por otro lado, las densidades de los compuestos presentan un incremento, excepto en la mezcla lodo/RP, en la cual hay una reducción del 8%. En cuanto a las condiciones de dureza, se presenta un aumento en las mezclas con PE y PVC, lo que coincide con lo reportado por Riyajan, et al [10], quienes hallaron que en mezclas de celulosa y polímeros se genera un leve incremento en la dureza tal vez causado por la reacción química entre la celulosa y la matriz polimérica, lo que facilita el proceso de transferencia de energía y por lo tanto endurece el compuesto. El lodo puede presentar además un incremento en la resistencia a la fricción cuando es mezclado con la RP, lo que puede reportar menor desgaste de elementos fabricados a partir de este compuesto. Para el caso del lodo/PVC, se corrobora que un aumento en el coeficiente de fricción se correlaciona con el incremento en la abrasión reportado en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Resultados de las pruebas realizadas a las diferentes mezclas

PRUEBA	MEZCLAS						
	Lodo/PE (50/50)	PE (100)	LODO/PVC (20/80)	CaCO <sub>3</sub> /PVC (10/90)	PVC (100)	LODO/RP (50/50)	CaCO <sub>3</sub> +FV/RP (50/50)
Esfuerzo de Flexión (Mpa)	7,03 ± 1,6	16,67 ± 1,57	NA	NA	NA	31,45 ± 1,29	26,80 ± 0,51
Coefficiente de fricción dinámico (N/N)	0,44 ± 0,00	0,34 ± 0,01	0,93 ± 0,10	0,82 ± 0,01	0,90 ± 0,01	0,43 ± 0,03	0,60 ± 0,07
Coefficiente de fricción estático	0,26 ± 0,02	0,31 ± 0,02	0,84 ± 0,08	0,82 ± 0,02	0,81 ± 0,04	0,345 ± 0,06	0,50 ± 0,05

PRUEBA	MEZCLAS						
	Lodo/PE (50/50)	PE (100)	LODO/PVC (20/80)	CaCO <sub>3</sub> /PVC (10/90)	PVC (100)	LODO/RP (50/50)	CaCO <sub>3</sub> +FV/RP (50/50)
(N/N)							
Esfuerzo de tracción (Mpa)	4,41 ± 0,08	8,47 ± 0,85	5,00 ± 0,01	6,40 ± 0,15	6,40 ± 0,89	NA	NA
Dureza Shore	59,00 ± 1,00 <sup>D</sup>	58,00 ± 1,00 <sup>D</sup>	70,00 ± 5,00 <sup>A</sup>	60,00 ± 3,00 <sup>A</sup>	60,00 ± 5,00 <sup>A</sup>	83,67 ± 0,58 <sup>D</sup>	87,67 ± 0,58 <sup>D</sup>
Abrasión mm <sup>3</sup>	NA	NA	353,33 ± 1,53	317,00 ± 2,00	310,00 ± 2,00	NA	NA
Densidad (gcm <sup>-3</sup> )	1,10±0,01	0,85 ± 0,03	1,21 ± 0,02	1,19 ± 0,02	1,18 ± 0,01	1,25 ± 0,03	1,35 ± 0,01

NA: No Aplica

#### 4.1 Peletizado

A pesar de que la celulosa y las fibras procedentes de residuos maderables han sido empleadas como cargas en múltiples usos, la generación de pellets a escala industrial ha sido uno de los retos más relevantes en el desarrollo de este estudio, lo cual se logró a partir de las mezclas de lodo de papel con PVC superando en un 10% las cargas tradicionalmente empleadas. Ver Figura 2b.

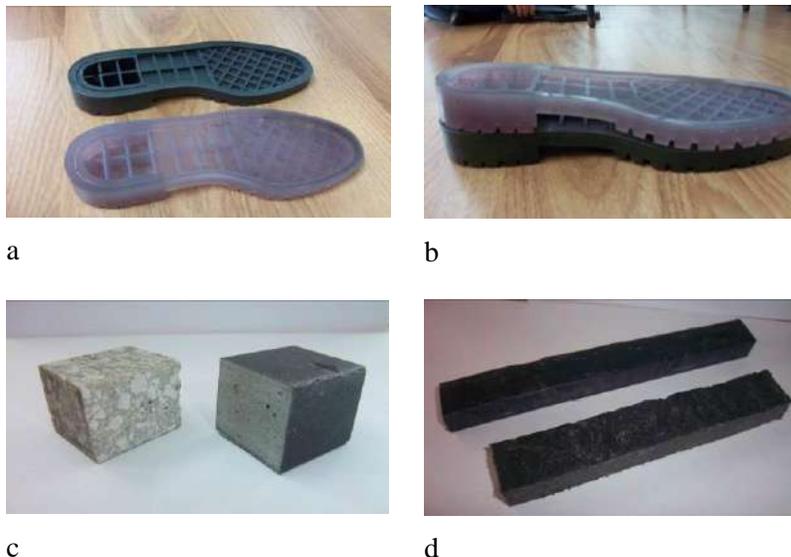


**Figura 2.** a. Pellets de CaCO<sub>3</sub>/PVC; b. Pellets lodo/PVC

#### 4.2 Conformado de piezas

Luego de la extrusión de los pellets, éstos se llevaron a una máquina inyectora para la producción de suelas, tal como se muestran en la Figura 3a y 3b. Para el caso de la mezcla de CaCO<sub>3</sub>/FV/RP

y Lodo /RP, así como para el PE y el Lodo/PE, se conformaron piezas para las pruebas mecánicas, las cuales se pueden apreciar en las Figuras 3c y 3d.



**Figura 3. a. y b.** Suelas de lodo (20%)/PVC (80%) en color oscuro y PVC (100%) en color claro; **c.** piezas de CaCO<sub>3</sub>/FV/RP y lodo/RP (gris); **d.** piezas de PE y Lodo/PE

## 5 CONCLUSIÓN

La evaluación de la incorporación del lodo paplero como carga en materias primas poliméricas comerciales, considerando porcentajes industriales, mostró que éste puede reemplazar la carga tradicional, superando el porcentaje de aplicación normal sin comprometer la calidad del producto y las propiedades de éste. El estudio mostró que el lodo de papel mezclado con polímero como el PVC, permite ser peletizado para luego ser manufacturado en productos industriales. El proceso de mezclado del lodo/PE dio como resultado productos que pueden ser empleados a nivel doméstico e industrial.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Irwin, S. y Uribe A. Guía para la evaluación de sitios para la disposición de residuos papeleros en suelos. Medellín, Proyecto de Grado. Ingeniería Ambiental. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2004.
2. Giovando, Carol Ann. Cogen plant derives multiple uses from paper-mill sludge. Associate Editor, Power Magazine. Vol. 143 No. 4 july/aug pp 35-38. 1999.
3. Quinchia, A., Restrepo, C. y Betancourt G. Análisis prospectivo de aprovechamiento y disposición de lodos provenientes de industrias papeleras. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. 180 p. 2005.

4. Bonoli, A., & Dall'Ara, A. "A bioremediation case of an ex-quarry area restored by paper sludge". *Journal of biotechnology*, Vol 157 No 4, 499–504. doi:10.1016/j.jbiotec.2011.08.010. 2012.
5. Hoyos Hurtado, Maria Teresa, López Sánchez, Yanine Liliana, Mejía Larrea, Claudia Andrea y Rojas Gaviria, Juliet. Aprovechamiento de lodos primarios de las fábricas de papel. Medellín. UPB. p. 7. 2000.
6. Carpenter, Andrew F.; Fernandez, Ivan J. "Pulp sludge as a component in manufactured topsoil". *Journal of Environmental Quality*. Vol. 29. No. 2 (March/April) p. 387-97. 2000.
7. Pasquini et al. "Surface esterification of cellulose fibres: Processing and characterisation of low-density polyethylene/cellulose fibres composites". *Composites Science and Technology*. Vol 68. p. 193–201. 2008.
8. Muehl, J., Krzysik, A., chow p. Composite panels made with biofiber or office wastepaper bonded with thermoplastic and/or thermosetting resin. USDA. United States Department of Agriculture. Forest Products Laboratory. 2004.
9. Bengtsson, M. Le Baillif, M. and Oksman, K. "Extrusión and mechanical properties of highly filled cellulose Fibre-polypropylene composites". *Composites Part A* Vol. 38. P. 1922 – 1931. 2007.
10. Riyajan, Sa-Ad, Intharit, I. Tangboriboonrat, P. "Physical properties of polymer composite: Natural rubber glove waste/polystyrene foam waste /cellulose". *Industrial Crops and products*. Vol. 36. p. 376 – 382. 2012.