

# DESTINTADO EN MEDIO NEUTRO DE PAPEL RECICLADO APLICANDO MEZCLAS DE ENZIMAS CELULASA Y $\alpha$ -AMILASAS

*Belkis Sulbarán*

*José Turrado*

*Ezequiel Delgado*

Universidad de Guadalajara México, Centro Universitario de Ciencias  
Exactas e Ingeniería, Departamento de Madera Celulosa y Papel

*Orlando Rojas*

*Richard Venditti*

North Carolina State University USA, Department of Forest Biomaterials  
and Engineering College of Natural Resources

---

## Abstract

Deinking of paper recycled is a process which involves the removal of the printed ink pigments, in order to recover clean cellulose fibers suitable for papermaking (Ferguson, 1992). Deinking is carried out in alkaline medium, requires the use of chemical reagents. Basically, the deinking can be divided into two stages: 1) Pulping or disintegration and 2) Deinking and / or washing (Ferguson, 1992; Beneventi and Carré, 2000). Effluents generated in deinking alkaline are unfriendly to the environment, therefore, actually for research have been doing deinking under neutral conditions and not applying conventional reagents chemical as sodium hydroxide, hydrogen peroxide, sodium silicate, etc. (Jobbins and Heise, 1996; Rosencrance, 2007). In deinking under neutral condition only apply surfactants, enzymes or sodium sulfite in substitution of conventional reagents (Bobu and Ciolacu, 2008; Alzate *et al.*, 2013). The aims to this study was doing deinking by flotation in neutral condition to apply a mixture of enzyme  $\alpha$ -amylase and cellulase (50:50) and compared with a neutral deinking using commercial surfactants. The data show that the enzyme deinking has better performance 85 % of yield, 88 % of brightness and 90 % of removal of residual ink (ERIC) in compared with deinking with surfactants, it has 72 % of yield, 80 % brightness and 80% of ERIC.

---

**Keywords:** Neutral dinking, enzymatic treatment, surfactants, cellulase and  $\alpha$ -amylase

---

## Resumen

El destintado de papel reciclado es un proceso que consiste en la remoción de pigmentos de la tinta impresa, con el propósito de recuperar fibras de celulosa limpias y aptas para la fabricación de papel (Ferguson, 1992). El destintado se efectúa en medio alcalino y demanda el uso de reactivos químicos. Básicamente, el destintado se puede dividir en dos grandes etapas: 1) El pulpeo o desintegración y 2) el destintado y/o lavado (Ferguson, 1992; Beneventi and Carré, 2000). Los efluentes generados en destintado alcalino son poco amigables con el medio ambiente por lo tanto en la actualidad se han estado haciendo investigaciones para realizar el destintado bajo condiciones neutras y no aplicar reactivos químicos convencionales como hidróxido de sodio, peróxido de hidrógeno, silicato de sodio, etc (Jobbins and Heise, 1996; Rosencrance, 2007). En el destintado en medio neutro se aplican tensoactivos, enzimas o sulfito de sodio se sustitución de los reactivos convencionales (Bobu and Ciolacu, 2008; Alzate *et al.*, 2013). El presente trabajo tiene como objetivo aplicar una mezcla de enzimas (50:50) de celulasa y  $\alpha$ -amilasa en el proceso de destintado de papel reciclado de oficina en condiciones neutras y comparar con un destintado aplicando tensoactivos comerciales. Los datos obtenidos muestran que el destintado con enzimas presenta mejores resultados 85% de rendimiento, 88% blancura y 90% de eliminación de tinta residual (ERIC), en comparación del destintado con tensoactivos en donde se obtuvo 72% de rendimiento, 80% blancura y 80% de ERIC.

---

**Palabras clave:** Destintado neutro, tratamiento enzimático, tensoactivos, celulasa y  $\alpha$ -amilasas

## Introducción

El papel desperdicio constituye el residuo aprovechable de mayor volumen y peso contenido en los residuos sólidos urbanos. Su aprovechamiento como materia prima para la fabricación de papel presenta numerosas ventajas ambientales, económicas y sociales. La disminución de papel de desperdicio en los basureros y la reducción del uso de madera para la fabricación de papel disminuye el impacto relacionado a la explotación de recursos forestales (Zhao *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2013). Sin embargo, el papel reciclado presenta retos importantes para su aprovechamiento a consecuencia del envejecimiento de las fibras, la presencia de contaminantes originados por los aditivos empleados en los procesos primarios de fabricación (cargas, rellenos, adhesivos, etc.), tipo de impresión, así como por las

condiciones de uso y su disposición final (basureros y rellenos sanitarios) (Monte *et al.*, 2012).

En la fabricación de papel a partir de papel reciclado se busca obtener fibras limpias, esta operación incluye: depuración, destintado y pasivación de compuestos resinosos coloidales (Monte *et al.*, 2012). El destintado hasta ahora generalmente se efectúa en medio alcalino y demanda el uso de reactivos químicos como hidróxido de sodio, peróxido de hidrogeno, silicato de sodio, etc, para ser más eficiente el proceso (Ferguson, 1992; Carré *et al.*, 2000). Esto tiene un impacto negativo sobre el ambiente, ya que los efluentes generados son difíciles de tratar debido a que presentan contaminantes como adhesivos, pigmentos de tintas, resinas, productos químicos, finos orgánicos, etc (Beneventi and Carré, 2000; Rosencrance *et al.*, 2005; Alzate *et al.*, 2013).

En la actualidad el destintado en condiciones neutras es el tema de estudio de mayor interés en lo que se refiere a las nuevas tecnologías de uso de papel reciclado (Jobbins and Heise, 1996; Haynes and Merza, 2005; Rosencrance *et al.*, 2005; Bobu and Ciolacu, 2008; Alzate *et al.*, 2013). Las principales diferencias con respecto al destintado tradicional (medio alcalino) son aplicar tensoactivos, enzimas o sulfito de sodio en sustitución de los reactivos químicos que convencionalmente se aplican y en modificar algunas condiciones de operación (Jobbins and Heise, 1996; Rosencrance, 2007; Bobu and Ciolacu, 2008; Alzate *et al.*, 2013).

Los tratamientos enzimáticos pueden ser utilizados en el destintado de papel reciclado del tipo oficina ya que este tipo de papel se encuentra limitado para su aprovechamiento por el alto contenido de tintas de tóner (Viesturs *et al.*, 1999). Las tintas de tóner son difíciles de remover por procesos convencionales de destintado y lavado ya que contienen ligantes termoplásticos que se polimerizan y fusionan en el papel durante el proceso de impresión a altas temperaturas (Lee *et al.*, 2007). Cuando estos papeles son tratados químicamente, las partículas de tóner suelen tener una separación muy pobre de las fibras ya que son rígidas, planas y de gran tamaño, esto dificulta su eliminación en el proceso (Carré *et al.*, 2000).

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio del destintado aplicando una mezcla (50:50) de enzimas del tipo celulasa y  $\alpha$ -amilasa en el proceso de destintado de papel reciclado de oficina. Este proceso será comparado con un destintado aplicando tensoactivos comerciales. Al aplicar una mezcla de enzimas tipo celulasa  $\alpha$ -amilasa, se espera que la separación de las partículas de tinta y las fibras se de mediante la hidrólisis de la celulosa y el almidón que se encuentra en la región de enlace entre las fibras y las tintas. Las propiedades ópticas de las hojas preparadas con las pulpas obtenidas serán evaluadas de manera tal de obtener un proceso de destintado eficiente y más amigable con el ambiente.

## **Materiales y métodos:**

### **Materia prima**

Se utilizó papel de oficina tamaño carta, el cual fue impreso con tóner por ambos lados con la letra “a”, 55 columnas por 109 filas (Times new roman, tamaño 12). Las hojas fueron cortadas en piezas de 2 por 2 cm y desintegradas a 3% de consistencia por 10 minutos en el desintegrador TAPPI British, sin aplicar ningún reactivo químico.

### **Enzimas**

Para el estudio se utilizó una mezcla 50:50 de dos enzimas comerciales celulasa (Novozyme 342) y  $\alpha$ -amilasas (Novozyme 51055), facilitados por la empresa Novozymes de USA.

### **Destintado**

El destintado por flotación se realizó en una celda de flotación Wemco, con las siguientes condiciones de operación: tiempo de flotación de 3 min, consistencia de 0.8% y temperatura 40°C. El destintado por flotación se llevó a cabo en dos partes:

- Destintado con tensoactivo: Se realizó a pH: 7, como tratamiento control o de referencia. Se aplicó en la celda de flotación un tensoactivo espumante tipo ácido graso a 0.5% en base al peso seco del papel.
- Destintado con enzimas: Se realizó aplicando una mezcla (50:50) de celulasas y  $\alpha$ -amilasas. Con tiempos de reacción de 30 y 180 (minutos), dosis de 0.1 y 0.01% y pH: 6.25.

### **Evaluación del destintado**

Se calculó el rendimiento del proceso y la eficiencia del destintado en cada tipo con tensoactivo y con enzimas. Se realizaron hojas estándar de laboratorio según la norma TAPPI T218 sp-02 a las cuales se les determinaron las propiedades ópticas, tales como: Factor de reflectancia a 457 nm (blancura ISO) y porcentaje de eliminación de tinta residual (ERIC).

## **Resultados:**

La utilización de la mezcla de celulasa y  $\alpha$ -amilasa (C:A) en el destintado en medio neutro obtuvo mejores resultados que el destintado neutro aplicando solo tensoactivo (Figura 1). Se observa que el tiempo de reacción y la dosis de aplicación de las enzimas influyen en el rendimiento. La Figura 1 muestra que cuando se aplicó la mezcla (C:A) a tiempos cortos (30 minutos) y dosis (0.1%) se obtuvieron resultados de 77% de rendimiento, valor más bajo que los otros destintados con enzimas (>80%). Esto se debe a que las enzimas necesitan más tiempo y mayor cantidad para actuar. Las

celulasas atacan la estructura de la fibra hidrolizado la celulosa que se encuentra en la región de enlace entre las fibras y las tintas. Las  $\alpha$ -amilasa hidrolizan el almidón que se encuentra entre la superficie de las fibras y las tintas logrando así que se desprenda (Pala *et al.*, 2004). Estos mecanismos hacen que las tintas sean separadas y por tanto en la etapa de flotación sea más fácil retirarlas.

El rendimiento de la pulpa en el proceso de destintado es afectado por la flotación, ya que la eliminación de las tintas no es selectiva y arrastra fibras de celulosa. A pesar de esto en el destintado aplicando la mezcla de enzimas (Figura 1) se obtuvieron mayores rendimientos, entre 77-85% que cuando se aplico solo tensoactivos 72%, esto es relevante ya que se disminuye los residuos del proceso de destintado (Iodos).

Otra medida importante en industria del papel es el factor de reflexión o blancura ISO. La blancura se define como la reflectancia de luz medida a una longitud de onda de 457nm. Es importante señalar que en la industria papelera, poder lograr un aumento en el grado de blancura de dos o más por ciento es un logro que se considera importante. En la Figura 2 se muestran los resultados de blancura obtenidos para las hojas preparadas con pulpas destintadas con tensoactivos y con la mezcla de enzimas. De acuerdo con esto se tiene que el destintado en medio neutro aplicando la mezcla C:A a tiempos de 180 minutos y dosis de 0.1% obtuvo 88% de blancura, lo cual es un valor alto en comparación con el destintado con tensoactivos el cual fue de 82%, esto representa un incremento en blancura de aproximadamente 6%. Es importante resaltar que con tiempos cortos (30 min) y bajas dosis (0.01%) los resultados de blancura fueron bajos (80%).

En la Figura 3 se muestran los valores de ERIC obtenidos para cada tipo de destintado a diferentes tiempos de pretratamiento enzimático. La tinta residual es una medida que indica la cantidad de tinta remanente presente en una hoja de papel destintado. Es una propiedad óptica que se mide usando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 950 nm, en esta región del espectro solo las tintas son visibles. En cuanto a los valores de eliminación de tinta residual ERIC obtenidos para el destintado enzimático se observa el mismo comportamiento que con la blancura. Al aplicar las enzimas a tiempos de 180 minutos y dosis de 0.1% se obtuvo un incremento en el porcentaje de eliminación de 11% y con tiempos cortos de 30 min y bajas dosis (0.01%) una disminución de 8%, en comparación con el destintado con tensoactivos.

## Conclusión

De acuerdo con este estudio el uso de una mezcla de enzimas del tipo celulasa y  $\alpha$ -amilasa es posible y competitivo como estrategia de destintado en condiciones neutras de papel reciclado. De acuerdo con los resultados se

observo que hay un sinergismo entre estas enzimas que hace que se incremente la separación entre las fibras y las partículas de tintas, facilitando así su eliminación en la etapa de flotación.

Las variables estudiadas como tiempo y dosis de aplicación son muy importantes en el proceso, se observa que a dosis de 0.1% y tiempos de 180 minutos se obtienen los mejores resultados, a pesar de esto es de resaltar que en la industria este tiempo es muy prolongado se debería optimizar a tiempos más cortos.

### **Agradecimientos:**

Los autores le agradecen a la empresa Novozyme por facilitar las enzimas, al departamento de Madera y Ciencia del Papel de la Universidad de Carolina de Norte (NCSSU) y al departamento de Madera Celulosa y Papel “Ing. Karl Augustin Grellman” de la Universidad de Guadalajara.

### **Referencias:**

- Ferguson, L. "Deinking chemistry: part 1" *TAPPI Journal*. (1992) Vol.75 pp.75-83.
- Beneventi, D. and Carré. B. "The Mechanisms of Flotation Deinking and the Role of Fillers" *Progress in Paper Recycling*. (2000) Vol. 9 pp.77-85.
- Rosencrance, S. "Non-sulfite neutral deinking for recycled fibre" *Pulp and Paper Canada*. (2007) Vol. 108 pp.15-18.
- Jobbins, J. and Heise O., “Neutral deinking of mixed office waste in a closed-loop process, in Recycling” *Symposium TAPPI proceedings* (1996) pp. 1-6.
- Alzate, H., et al. "Study of the enzymatic/neutral deinking process of waste photocopy paper" *O PAPEL* (2013) Vol. 74 pp. 61-65.
- Bobu, E. and Ciolacu F.. "Deinkability of mixed prints: alkaline vs neutral deinking" *Progress in Paper Recycling*. (2008) Vol. 18 pp. 23-31.
- Lee, C.K., D. Ibrahim, and I. Che Omar. "Enzymatic deinking of various types of waste paper: Efficiency and characteristics" *Process Biochemistry*. (2013) Vol. 48 pp. 299-305.
- Zhao, Y., Y. Deng, and J. Zhu. "Role of surfactants in flotation deinking" *Progress in Paper Recycling* (2004) Vol. 14 pp. 41-45.
- Monte, M.C., et al. "Improving deposition tester to study adherent deposits in papermaking" *Chemical Engineering Research and Design*. (2012) Vol. 90 pp.1491-1499.10. Carré, B., et al. "Deinking difficulties related to ink formulation, printing process, and type of paper" *TAPPI Journal*. (2000) Vol. 83 p.60.
- Rosencrance, S., Horacek, B. and Hale, K. “A unique new ONP/OMG “true-neutral” deinking technology” *Annual Meeting Preprints - Pulp and Paper*

*Technical Association of Canada*, 91st. (2005) Montreal, QC, Canada pp. 203-206.

Haynes, R. and Merza, J."Global Application of Sulphite Based Neutral Deinking Technology"*Engineering, Pulping, and Environmental Conference*. (2005) pp. 1-22.

Viesturs, U., et al. "Biological deinking technology for the recycling of office waste papers"*Bioresource Technology*. (1999) Vol. 67 pp. 255-265.

Lee, C.K., Darah, I. and Ibrahim. C.O. "Enzymatic deinking of laser printed office waste papers: Some governing parameters on deinking efficiency"*Bioresource Technology*.( 2007) Vol. 98 pp.1684-1689.

Pala, H., Mota,M. and Gama F.M. "Enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper"*Journal of Biotechnology*. (2004) Vol. 108 pp.79-89.

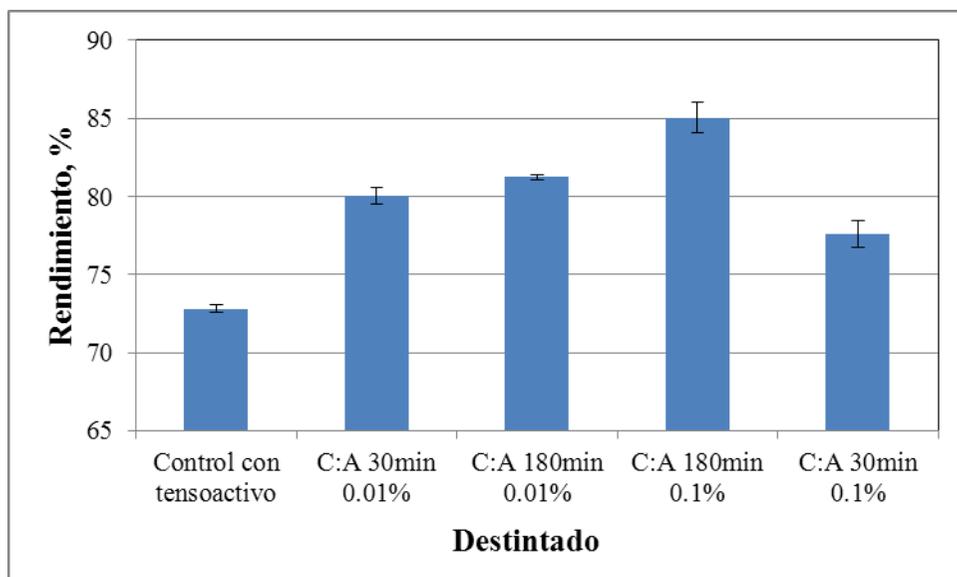


Figura 1. Rendimiento del destintado aplicando la mezcla C:A (celulasa y  $\alpha$ -amilasa) a diferentes dosis (0.1 y 0.01%) y tiempo (30 y 180 minutos) comparado con el control (aplicación de tensoactivo comercial).

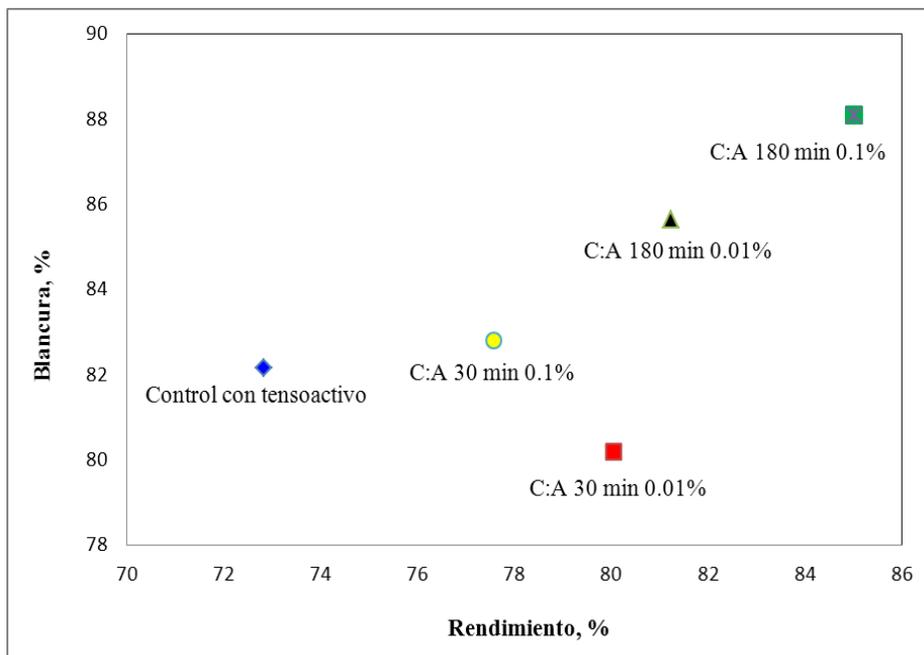


Figura 2. Blancheur versus % de rendimiento aplicando la mezcla de C:A (celulosa y  $\alpha$ -amilasa) a diferentes dosis (0.1 y 0.01%) y tiempo (30 y 180 minutos) comparado con el control (tensoactivo comercial).

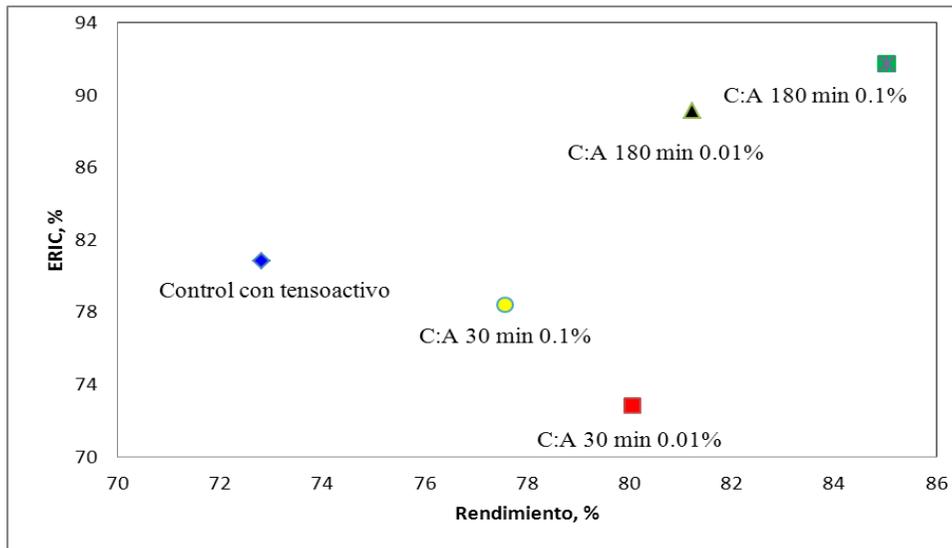


Figura 3. ERIC versus % de rendimiento aplicando la mezcla C:A (celulosa y  $\alpha$ -amilasa) a diferentes dosis (0.1 y 0.01%) y tiempo (30 y 180 minutos) comparado con el control (tensoactivo comercial).