

Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

**Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera de *jacaranda copaia* (ciruelo)  
utilizando celulasas.**

Odilma Rufasto Troyes<sup>1</sup> Marcela Arteaga Cuba<sup>2</sup>

1. Bachiller Universidad Nacional de Cajamarca-Sede Jaén
2. Docente Principal Universidad Nacional de Cajamarca –Sede Jaén

3300 palabras, 4 gráficos y 2 figuras.

## RESUMEN

La industria del papel desde la elaboración de la pulpa y específicamente el blanqueo de la pulpa de celulosa de madera se generan compuestos organoclorados de alta masa molecular, compuestos de importancia ambiental. En el proceso de pulpaje Kraft son capaces de remover la lignina en un gran porcentaje pero la lignina original queda en la pulpa de celulosa. Esta “lignina residual” no puede ser removida por un proceso de digestión. Por lo tanto para eliminar el color marrón de la pulpa mecánica de *Jacaranda copaia* “ciruelo”, considerada como una especie tropical de la Amazonia Peruana; dicha especie, tiene un buen comportamiento para la elaboración de pulpa y papel, por su rápido crecimiento, su gran afinidad y plasticidad de su fibra. de madera plantemos se evaluó el efecto de la concentración de la enzima xilanasasa (1,4 $\beta$  – Xylannohidrolase), y el tiempo de exposición más adecuado en el proceso de blanqueo de la pulpa mecánica de madera de *Jacaranda copaia* “ciruelo”, trabajado con tres concentración de enzimas 0.1, 0.01 y 0.001ml y tres concentraciones cloro 1%, 0.1% y 0.01%, como agente blanqueante. Los resultados obtenidos, indican que el tratamiento que tuvo mayor efecto fue la concentración de enzima de 0.001ml, tiempo de exposición de una hora y la aplicación de cloro de 1% de concentración alcanzando el nivel de 68.1% de blancura de la pulpa. Según el análisis de varianza ANVA y la prueba de significación de Duncan al 5 %, no hay diferencias reales entre los promedios de la concentración de enzima xilanasasa: 1,4 $\beta$  – Xylannohidrolase, llegando a la siguiente conclusión que es conveniente el uso de esta enzima, ya que se logro la disminución del uso de cloro en la etapa de blanqueo y por ende reducir una alta contaminación ambiental que se producen en estas etapas de blanqueamiento convencional de pulpa para papel.

Palabras claves: Celulasas, xilanasasa, blanqueamiento de pulpa, *Jacaranda copaia*

## ABSTRACT

The pulp industry, and specifically the pulp bleaching of wood pulp, generates organochlorinated compounds of high molecular mass, compounds of environmental importance. In the process of pulpaje Kraft are able to remove the lignin in a large

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

percentage but the original lignin remains in the cellulose pulp. This "residual lignin" can not be removed by a digestion process. Therefore to eliminate the brown color of the mechanical pulp of *Jacaranda copaia* "plum tree", considered as a tropical species of the Peruvian Amazon; This species has a good behavior for the pulp and paper production, due to its fast growth, its great affinity and plasticity of its fiber. We propose the effect of the concentration of the xylanase enzyme (1,4 $\beta$  - Xylannohydrolase). , and the most adequate exposure time in the bleaching process of the mechanical pulp of *Jacaranda copaia* "plum tree", worked with three concentrations of enzymes 0.1, 0.01 and 0.001ml and three concentrations of chlorine 1%, 0.1% and 0.01% , as a bleaching agent. The results obtained indicate that the treatment that had the greatest effect was the enzyme concentration of 0.001ml, exposure time of one hour and the application of chlorine of 1% concentration reaching the level of 68.1% of whiteness of the pulp. According to the ANVA analysis of variance and Duncan's significance test at 5%, there are no real differences between the averages of the xylanase enzyme concentration: 1,4 $\beta$ -Xylannohydrolase, reaching the following conclusion that it is convenient to use this enzyme, since it was possible to reduce the use of chlorine in the bleaching stage and therefore reduce the high environmental pollution that occurs in these stages of conventional paper pulp bleaching.

Key words: cellulases , xylanase , pulp bleaching , *Jacaranda copaia*

### I. INTRODUCCIÓN

La Industria de la celulosa y el papel ha experimentado cambios drásticos en las últimas décadas que en buena medida se ha dirigido a conseguir una producción sostenible que conserve el medio ambiente; asimismo la demanda nacional e internacional de papel es una demanda creciente, siendo la madera el agente principal para la elaboración de este tipo de producto.

En los últimos años la producción de papel ha aumentado y las expectativas hacia el futuro indican que seguirá en aumento. Para poder hacer frente a este incremento es necesario la utilización de nuevas materias primas, aumento en la productividad y rendimiento de los procesos, sin que eso cree problemas para el ambiente. La aparición

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

de leyes más estrictas sobre los procesos industriales con el objetivo de minimizar el impacto ambiental, lleva a la introducción de cambios y a la utilización de nuevas tecnologías en muchas áreas industriales. La industria papelera es uno de estos sectores que ha sufrido numerosos cambios en las últimas décadas, centrados especialmente en el proceso de blanqueamiento de las pastas para papel, debido a la utilización de cloro y la formación de compuestos organoclorados (AOX) durante el proceso.

Dentro de las enzimas celulasas se encuentran las xilanasas que son enzimas que catalizan la hidrólisis de xilanos que forman parte de las hemicelulosas presentes en las fibras celulósicas. Estas hemicelulosas se encuentran en cierta forma en una situación intermedia entre las cadenas ordenadas de celulosa y la fracción amorfa de lignina. El efecto positivo de la enzima xilanasas se atribuye a la eliminación de estos xilanos, haciendo que desaparezca la unión existente entre celulosa y lignina, por lo que al encontrarse más libre esta última facilita su eliminación en posteriores etapas de blanqueo. (De la Rosa 2003; Roncero et al. 2003b).

El objetivo fue determinar el efecto de la enzima 1,4 $\beta$  – Xylanxynohidrolase, en el proceso de blanqueo de la pulpa mecánica de madera de *Jacaranda copaia* “ciruelo”.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La muestra de madera de ciruelo – *Jacaranda copaia*, se colectó en el sector de Nuevo Chota, Distrito Imaza de la Provincia de Bagua.

La fase de laboratorio se llevó a cabo en el Laboratorio de Industrias Forestales y en el laboratorio de Biología de La Universidad Nacional de Cajamarca. Sede - Jaén.

### 2.2. Materiales

- Material biológico  
Enzima xilanasas: 1,4 $\beta$  – Xylanxynohidrolase, con código EC 3.2.1.8, obtenida del hongo *Trichoderma viridae*.
- Material de Investigación  
Pulpa mecánica de la especie forestal *Jacaranda copaia* “ciruelo” de árboles seleccionados.

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

### 2.3. Metodología

#### Trabajo en campo

- Selección del árbol de *Jacaranda copaia* para la obtención de la muestra  
La selección de los árboles se ejecutaron teniendo en cuenta la rectitud del fuste, DAP de 20 cm, joven, encontrarse en bosque secundario, fácil accesibilidad para su extracción.
- Colección de la muestra El árbol seleccionado fue apeado utilizando motosierra, tratando de hacer el corte lo más cercano al nivel del suelo. Luego a la altura del DAP se extrajo una troza de aproximadamente un metro de largo el cual sirvió para la obtención de las astillas. Todas las muestras obtenidas fueron protegidas con una sustancia hidrófoba para evitar la pérdida violenta del agua y la producción de grietas o rajaduras.
- Almacenamiento y pre-tratamiento para la conservación de la muestra

Las muestras se trasladaron a la ciudad de Jaén y fueron almacenadas temporalmente protegiéndose de la radiación solar y con cierta humedad, Se reforzó el tratamiento de las testas con sustancias hidrófobas como parafina para protegerlo de agrietamientos o rajaduras a las trozas.

#### Trabajo en Laboratorio

- Proceso de obtención de la pulpa

La troza, se procesó con un aserrío longitudinal utilizando cierra de cinta, obteniéndose probetas de 2.5 y 30 cm. de la parte media entre la médula y la corteza de la troza las que fueron utilizadas para la obtención de la pulpa. En el torno, se uso una piedra esmeril de grano N° 60, y mediante un rozamiento entre la piedra y las probetas de madera se obtuvo la pulpa mecánica de madera.

#### Purificación de la pulpa mecánica

- La pulpa se enjuago con agua para eliminar sustancias solubles en agua, luego se seco al aire libre, en un tamizador de 500 micras se tamizó la pulpa para obtener una pulpa homogénea.

#### Preparación del sustrato

- Una vez tamizada la pulpa, se pesó 1,00 gramo de pulpa seca y se colocó en frascos de vidrio de 100 ml, previamente rotulados, (30 envases).

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

- Diseño experimental para la aplicación de la enzima xilanasa La enzima se trabajo con buffer acetato pH 5.0 con tres concentraciones de xilanasa, tres tiempos y tres repeticiones; Factorial 3\*3 (0.1ml, 0.01ml, 0.001ml de enzima) (30, 60, 130 minutos)
- Aplicación de la enzima xilanasa

Una vez que se pesó un gramo de pulpa para cada uno de los 30 envases rotulados, se agregó la xilanasa de acuerdo a su concentración y se aforo con buffer acetato pH 5, 20 ml para cada muestra.

Se mantuvo en baño maría a una temperatura de 34°C y en constante agitación por el tiempo de exposición antes indicado (30, 60 y 130 minutos respectivamente). Luego se inactivo la enzima a 100°C para leer en el espectrofotómetro la producción de azúcares reductores.

- Aplicación de agente blanqueante - cloro  
Se trabajó con tres concentraciones de cloro comercial, para el blanqueamiento de la pulpa (1%, 0.1%, 0.01%)
- Una vez preparadas las concentraciones de cloro se acondicionaron las muestras de la siguiente manera: Cada muestra de pulpa de papel que consistía en 1 gramo se pesó en tres partes iguales; para cada muestra se colocó 15 ml de cloro con los porcentajes que se prepararon. Se realizo el blanqueado con cloro para comparar con el blanqueado usando la xilanasa.

Blanqueado de la pulpa. Se utilizo el mismo diseño experimental usado en la enzima. Trabajándose tres repeticiones por tratamiento tomando en cuenta; las concentraciones de la xilanasa, Concentraciones del cloro, peso de la pulpa y tiempo de exposición.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con el propósito de conocer y describir la capacidad de la enzima xilanasa en el proceso de blanqueamiento en pulpa mecánica de madera de *Jacaranda copaia* para lo cual se uso una piedra esmeril de grano N° 60. La forma de separar las fibras es la energía mecánica que se traduce en esfuerzo de presión, descompresión

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

y cizalladura para lo que se usa desfibradores de piedra o de disco (Gonzales,H.2003)

Se analizaron tratamientos con diferentes concentraciones de enzima xilanasa, Las enzimas son catalizadores proteicos producidos por organismos vivos que aceleran la velocidad de las reacciones químicas y son altamente específicas. “Las xilanasas son enzimas que catalizan la hidrólisis de xilanos que forman parte de las hemicelulosas presentes en las fibras celulósicas, estas hemicelulosas se encuentran en cierta forma, en una situación intermedia entre las cadenas ordenadas de celulosa y la fracción amorfa de la lignina, el efecto positivo de la xilanasa se atribuye a la eliminación de estos xilanos haciendo que desaparezca la unión existente entre celulosa y lignina por lo que al encontrarse más libre esta última facilita su eliminación en posteriores etapas de blanqueo” (LaTorre,U., 2008 , López L. 2010). Como efluente en esta etapa se determino la presencia de xilosa para conocer indirectamente que concentración enzimática ha permitido la mayor degradación de los xilanos de la pulpa de *Jacaranda copaia* encontrándose

El blanqueo con cloro con un proceso de blanqueamiento con cloro comercial a diferentes concentraciones.

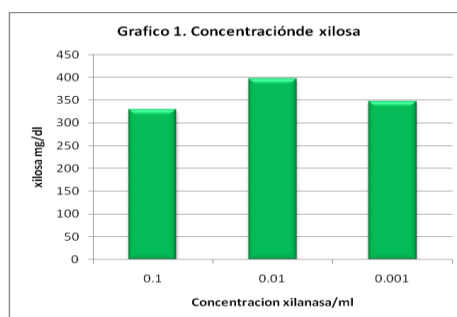


Gráfico N° 01 muestra que en los tratamientos de Ce2.T2, existe mayor concentración de xilosa, eso indica que la enzima aplicada a la pulpa mecánica de madera ha degradado en mayor cantidad al xilano, formándose el azúcar xilano, los que fueron identificados con una lectura de glucosa en el espectrofotómetro por el método enzimático, para determinar la presencia de azúcares reductores como la xilosa, la que indirectamente nos llevó a determinar la actividad de la xilanasa, en el xilano. Ferrer,J.et al 2002 hidrolizando bagacillo de caña de azúcar determinaron cuantitativamente azúcares reductores por espectrofotometría por el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico obteniendo un promedio de 10,53 g/l de azúcares

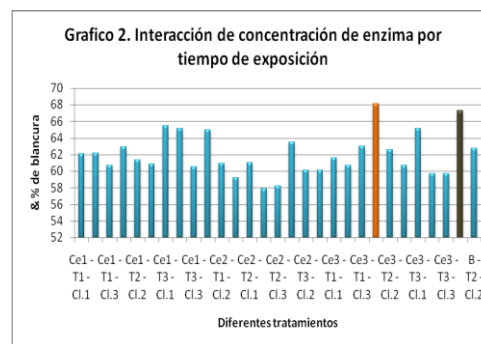
## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

reductores, y con el método de la glucosa oxidasa se obtuvo 397 mg/dl, encontrando una diferencia notoria por las cantidades empleadas, pero si se logro evaluar la presencia de xilosa.

Porcentaje de blancura:

Porcentaje de blancura de *jacaranda copaia* aplicando tratamientos con enzima y cloro a diferentes concentraciones.

Como se observa gráfico 02, correspondientes a la interacción de concentración de enzima por tiempo de exposición (C x T), para cada tratamiento, nos muestran que el mayor efecto de la enzima xilanasas es el tratamiento de concentración de enzima de 0.001ml, con un tiempo de exposición de una hora, alcanzando el nivel de 68.1% de blancura de la pulpa mecánica de madera.



El tratamiento con enzimas xilanasas permite un aumento de la deslignificación y de la blancura, un ahorro de agentes de blanqueo y una reducción del contenido en compuestos halogenados en el efluente. (Robles et al. 2006).

En la industria papelera, las enzimas xilanasas son aplicadas en el proceso de bioblanqueo, con esto se ha logrado realzar la brillantez de las pulpas y disminuir la cantidad de cloro utilizado en las etapas de blanqueo, además de resultar muy efectivas con respecto a los costos. (Ponce y Pérez. 2002).

Según Beg et al., 2001, mencionado por Robledo, A. 2012 las enzimas xilanasas actúan de manera aleatoria sobre la estructura del xilano, atacando los enlaces glicosídicos de la cadena principal de la molécula, liberando xilooligosacáridos de menor tamaño, asimismo; la xilanasas no reacciona con la lignina de la pulpa de madera; el xilano forma parte de las hemicelulosas y se encuentra entre la lignina y la matriz de la celulosa. (Cerón, L.E., 2009) así que las xilanasas degradan xilanos y se



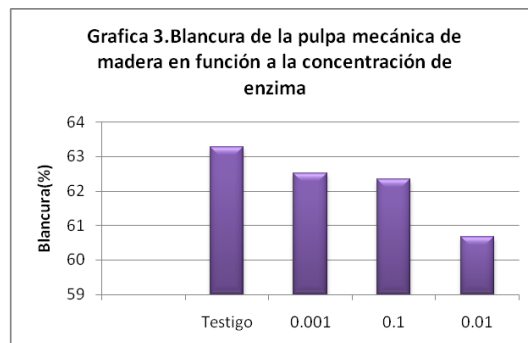
## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

produce una disociación del complejo lignina celulosa y por tanto una disminución del contenido de lignina. (Federal, U., Professional, M. & Scientiae, M., 2011)

Otros autores mencionan que la xilosa y las macromoléculas de xilanos se modifican y se forman estructuras coloreadas con enlaces dobles; el tratamiento con xilanasas también puede eliminar estos compuestos cromóforos. (Robles, et al. 2006) Según el análisis de varianza ANVA; se observa que no existe significación estadística para las fuentes tratamientos, concentración de enzima (C), tiempo de inmersión (T) y para la interacción C x T, para pulpa mecánica de madera, puesto que las F calculadas no superan a las F tabulares a los niveles 0,05 y 0,01 de probabilidades, respectivamente, lo cual indica que no hay diferencias entre los porcentajes de blancura de los tratamientos utilizados.

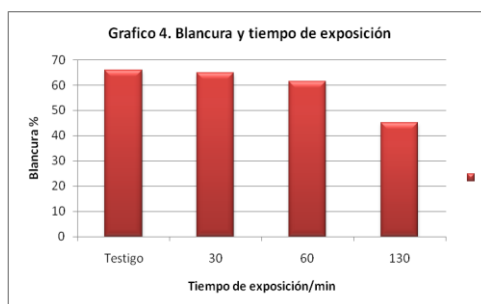
El coeficiente de variación (3.78%) es bajo el cual nos indica el grado de precisión que ha alcanzado el experimento.

Sin embargo para corroborar la no significación estadística del análisis de variancia para las fuentes de variabilidad en estudio se hizo la prueba de Duncan al 5% de probabilidades.



Realizada la Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidades para la variable porcentaje de blancura: Fuente Concentración de Enzima, (gráfico 3), se deduce efectivamente que todos los niveles  $c_1$ : 0,01 UE,  $c_2$ : 0.001 UE,  $c_3$ : 0.0001 UE), incluido el testigo son iguales estadísticamente, no hay diferencias reales entre los promedios de la concentración de enzima xilanasas: para el grado de blancura de la pulpa mecánica de madera del *Jacaranda copaia* utilizando cloro(testigo)

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera



Realizada la Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidades para la variable porcentaje de blancura: Frente Tiempo de exposición (gráfico 4), son iguales estadísticamente, no hay diferencias reales entre los promedios del tiempo de exposición de la enzima xilanasa. Esta prueba estadística nos demuestra también que desde el punto de vista práctico y económico que para obtener mayor porcentaje de blancura de la pulpa de mecánica de madera del Jacaranda copaia que es indiferente el uso de cloro como blanqueador con relación a la xilanasa, pero si observamos los efluentes que se obtienen con el cloro el ambiente es más perjudicado, por lo que es mejor el uso de sustancias orgánicas, en el trabajo donde aplican xilanasas comerciales en pasta de eucalipto mencionan que hay un aumento de DQO color y turbides en los efluentes es menor con las xilanas y la biodegradabilidad es superior ya que en las diferentes etapas del blanqueo se usan menos dosis de agentes de blanqueo, y en las etapas que no contienen compuestos clorados se pueden recircular junto a los de la deslignificación con oxígeno y enviar a la sección de recuperación.(La Torre,U. 2008)

En los resultados obtenidos del análisis de varianza ANVA y la prueba de significación estadística nos muestra que estadísticamente y desde el punto de vista práctico y económico, menciona que debemos utilizar el testigo, sin embargo a nivel de la industria del papel se emplea 3 millones de toneladas de cloro anual para blanquear la pasta, siendo este un elemento extremadamente reactivo, causando la formación de compuestos organoclorados resistentes a la degradación natural y se acumulan a través del tiempo en el ambiente, almacenándose en los tejidos grasos y bioacumulándose a los largo de la cadena alimenticia. (Zaror, C., 2000). Estos compuestos formados mediante el blanqueo con cloro son sustancia muy toxicas, ya que en general dañan a los sistemas endocrino, inmunológico y reproductor de los

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

organismos; además muchas de estas sustancias organocloradas son cancerígenas y mutagénicas. (Rao et al.,1994; Lunde et al.,1994; Lehtinen, 1992; Nielson et al., 1990). Mencionados por Carrasco,L.

### CONCLUSIONES

0.001ml de la enzima 1,4 $\beta$  – Xylanxynohidrolasa, con código EC 3.2.1.8, es la concentración encontrada para una de las etapas del blanqueo de la pulpa mecánica de madera de *Jacaranda copaia* (Ciruelo).

El tiempo de exposición más adecuado de la enzima, en el proceso de blanqueo, es de 60 minutos para el blanqueo de pulpa de *Jacaranda copaia* (Ciruelo).

### RECOMENDACIONES

Realizar estudios para saber los tipos y cantidad de efluentes.

Afinar resultados teniendo en cuenta diferentes parámetros de temperatura y de pH.

Realizar estudios con otras especies nativas de la zona para tener mas opciones de uso para la industria del papel.



Figura 1. Probetas para la obtención de la pulpa



Figura 2. Blanqueado de la pulpa con xilanasas

### REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Carrasco, L. Contaminantes ambientales derivados del pulpaje y blanqueo de la pulpa de madera disponible en [http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Celulosa\\_Leonidas.pdf](http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Celulosa_Leonidas.pdf)
- Cerón, L.E., 2009. Biotecnología en la industria de la pulpa y el papel : mapeo de patentes. *Revista EAN*, 67, pp.139–154.

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

- Federal, U., Profissional, M. & Scientiae, M., 2011. Utilización de enzimas como auxiliares de blanqueo en la producción de pulpa de celulosa de pinus radiata Viçosa Minas Gerais - Brasil la producción de pulpa de celulosa de *pinus radiata*
- Delgado-Aguilar, M. et al., 2015. Aplicación de celulosa nanofibrilada, en masa y superficie, a la pulpa mecánica de muela de piedra: una sólida alternativa al tratamiento clásico de refinado. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(ahead), pp.0–0. Available at: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-221X2015005000028&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2015005000028&lng=en&nrm=iso&tlng=en).
- Ferrer, J. R., Páez, G., Arenas de Moreno, L., Chandler, C., Mármol, Z., & Sandoval, L.. (2002). Cinética de la hidrólisis ácida de bagacillo de caña de azúcar. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 19(1), 23-33. Recuperado en 18 de marzo de 2018, de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182002000100003&lng=es&tlng=](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182002000100003&lng=es&tlng=)
- Gonzales, H., 2003. Recursos Fibrosos De Plantas No Papelera.
- González-Velandia, K.-D. et al., 2016. Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, 43(43), pp.499–517. Available at: [http://200.21.104.25/lunazul/index.php?option=com\\_content&view=article&id=210](http://200.21.104.25/lunazul/index.php?option=com_content&view=article&id=210)
- La Torre, U. 2008. Tratamiento con xilanasas en la secuencia industrial de blanqueo de eucalipto OXAZDP. *Celbiotech paper Engineering*. 19,1-20
- López Luengo, Gloria y Ángeles, Banares. Blanqueando el papel con una proteína. *Noticias*. Madrid. 2010. p.2.
- Ponce Noyola T. y Pérez Avalos O. (2002). “Celulasas y Xilanasa en la industria”. *Avance y Perspectiva* **21**:273-277.
- Robledo, A. 2012. Uso del olote de maíz como sustrato microbiano para la obtención de xilanasas. *Ene-Jun N°7*

## Blanqueamiento de pulpa mecánica de madera

- Robles, Y.A.M., Bem, E.C., Turner, O. and Ishii, E. (2006) Avaliação em escala laboratorial da aplicação da tecnologia enzimática na sequência de branqueamento ECF 39º Pulp and paper International Congress and Exhibition ABTCP-TAPPI
- Roncero, M.B., Torres, A.L., Colom, J. and Vidal, T. 2005 The effect of xylanase on the lignocellulosic components during the bleaching of wood pulps. *Bioresour Technol* 96, 21 – 30.
- Zaror, C. 2000. Introducción de la Ingeniería ambiental para la industria de procesos. Concepción-Chile