



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
CENTRO EULA - CHILE**



**“DESARROLLO DE SISTEMAS INTEGRADOS PARA LA PRODUCCION  
DE XILITOL,  $\alpha$ -CELULOSA Y ACIDOS ORGANICOS A PARTIR DE  
BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR”**



Por:

**Henrique Macedo Baudel**

Tesis presentada a la  
**ESCUELA DE GRADUADOS  
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**

Para optar al Grado de  
**DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Concepción – Chile  
-2004-

## RESUMEN

Escenarios formulados para el sector alcohólico (período 2005-2020) indican un incremento superior a 50% en la producción alcohólica brasileña en virtud del aumento de las exportaciones del mismo, además de la implementación de políticas de incentivo a su empleo como combustible vehicular. Sin embargo, existe una incertidumbre con respecto a las implicaciones ambientales de tal desarrollo. Las elevadas demandas por recursos hídricos, materiales y energéticos, además de emisiones líquidas y de "gases invernaderos" son aspectos de naturaleza ambiental que efectivamente pueden restringir la sustentabilidad de la actividad alcohólica. Específicamente, la producción alcohólica genera cantidades masivas de bagazo de caña, como residuo de proceso sin utilización, operándose un impacto significativo sobre el entorno ambiental de la actividad.

En virtud de su composición ligno-celulósica, carácter renovable y bajo costo, el bagazo representa una oportunidad de explotación económica a través de la producción de xilitol,  $\alpha$ -celulosa y ácidos orgánicos, los cuales poseen amplio uso industrial, además de valor agregado superior al etanol. En este contexto, la implementación de una planta para a producción integrada de etanol, xilitol,  $\alpha$ -celulosa y ácidos orgánicos a partir del bagazo excedente de las destilerías emerge como una alternativa viable en términos económicos.

El objetivo general de la presente investigación consistió en desarrollar un sistema integrado "eco-eficiente" de producción de xilitol,  $\alpha$ -celulosa y ácidos orgánicos a partir del bagazo de caña de azúcar excedente de las destilerías, en la perspectiva de su aplicación a la realidad local. El referente geográfico abordado en esta investigación fue la Cuenca del Tapacurá-Capibaribe (Pernambuco, Brasil), la cual constituye un sistema socioeconómico y ecológico donde la actividad alcohólica se encuentra inserida desde el siglo XVI.

En términos generales, el desarrollo del sistema integrado para la producción de xilitol,  $\alpha$ -celulosa y ácidos orgánicos emergió como una alternativa factible. Debido a las características del bagazo, los procesos de hidrólisis ácida y deslignificación pudieron ser conducidos bajo condiciones moderadas. Se logró producir xilitol y  $\alpha$ -celulosa con elevado rendimiento y selectividad. Por otro lado, se evidenció la factibilidad de producirse  $\alpha$ -celulosa mediante el empleo de una secuencia de deslignificación "*limpia y suave*" totalmente exenta de cloro (TCF), sin generación de compuestos organoclorados (AOX)

altamente tóxicos a la biota acuática. Además de esto, la oxidación húmeda de los licores negros (generados en la secuencia de deslignificación) con producción de ácidos orgánicos permitió formular un sistema productivo integrado compatible con la capacidad ambiental de los medios receptores. En términos generales, se produce cerca de 2540 ton de xilitol, 5.250 ton de  $\alpha$ -celulosa y 5.480 ton de ácidos orgánicos a partir del procesamiento anual de 16.000 ton de bagazo seco, lo que representa un incremento económico del orden de 157% sobre la actividad de producción de alcohol etílico.

Los posibles impactos ambientales asociados a la producción de etanol, xilitol,  $\alpha$ -celulosa y ácidos orgánicos se distribuyen en las dimensiones temporal y espacial. Asimismo, el desarrollo de un sistema integrado eco-eficiente requiere un análisis de los diversos aspectos ambientales con base al ciclo de vida del sistema, en diferentes escenarios formulados para la actividad alcoholera

El procesamiento industrial del alcohol etílico es responsable por la mayor parte del consumo de agua y energía, así como de las emisiones líquidas. La actividad agrícola ejerce una importante contribución a la reducción del efecto invernadero, mediante la fijación del  $\text{CO}_2$  atmosférico. El balance neto de  $\text{CO}_2$  en el ciclo de vida completo del sistema integrado promueve una fijación neta de 4,90 ton  $\text{CO}_2/\text{m}^3$  etanol, aunque se considere la combustión del etanol en los vehículos automotores. El sistema químico aporta la mayor cantidad de DQO no renovable, proveniente de la producción de  $\alpha$ -celulosa. El balance energético del sistema integrado a través del ciclo de vida indica un excedente neto de energía del orden de 19%.

La carga ambiental (en particular, las descargas del DQO) y los consumos de agua y energía concernientes a la actividad alcoholera de la Cuenca pueden ser significativamente reducidos a niveles aceptables mediante acciones de modernización tecnológica y de gestión ambiental. En el contexto global, la implementación de estas medidas permitiría duplicar la capacidad de producción de etanol, además de introducir un sistema químico a la matriz productiva, sin aumentar la carga orgánica sobre los cursos de agua en la misma proporción.

---

*Palabras claves: Sistema productivo integrado, xilitol,  $\alpha$ -celulosa, ácidos orgánicos, bagazo*