



Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci). EISSN: 2215-3896.

Julio-Diciembre, 1984. Vol 5-6(1): 21-32.

DOI: http://dx.doi.org/10.15359/rca.5_6-1.2

URL: www.revistas.una.ac.cr/ambientales

EMAIL: revista.ambientales@una.cr

Rónald Dórmond

Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



Alcohol a partir de madera. ¿Otra alternativa al problema alcohólico?

Alcohol from wood. Another alternative to the alcoholic problem?

Rónald Dórmond, Juan Carlos Sánchez



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (*post print*) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se mencione la fuente y autoría de la obra.

ALCOHOL A PARTIR DE MADERA. ¿OTRA ALTERNATIVA AL PROBLEMA ENERGETICO? RONALD DORMOND H.* JUAN CARLOS SANCHEZ V.**

INTRODUCCION

A partir del embargo petrolero impuesto por los países árabes sobre el mundo occidental, en 1973, la mayoría de los países industrializados se ha abocado a la búsqueda de fuentes alternas de energía y al desarrollo de tecnologías para su eficiente utilización, que les permita disminuir su dependencia de los volúmenes de petróleo importado. Dicha búsqueda ha sido incentivada en los últimos años por los crecientes pre-

cios del crudo y sus variaciones constantes.

Los países que no cuentan en la actualidad con fuentes propias de petróleo han visto afectada peligrosamen-

* Vicerrector de Investigación. Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.

** Profesor de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.

te su balanza de pagos al tener que importar, a precios cada vez mayores, este recurso energético, lo que ha contribuido marcadamente a los procesos inflacionarios internos que afectan a tales naciones. Muchas de ellas se caracterizan por poseer economías de tipo agrícola y no pueden soportar lo injusto de los términos de intercambio, en donde una cantidad cada vez mayor de productos exportados (frutas, granos, carne) permite una importación cada vez menor de artículos y bienes terminados (maquinaria, agroquímicos y enseres domésticos). Si aunamos a esto la importación de petróleo, que en buena parte es utilizado por los diversos medios de transporte y que debe ser pagado en moneda extranjera, las perspectivas económicas de estos países se tornan sombrías.

A fin de reducir el desequilibrio en su balanza de pagos, Costa Rica está tratando de impulsar últimamente un programa de sustitución de combustibles automotores derivados del petróleo por alcohol generado a partir de la caña de azúcar. Sin embargo, un estudio del Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad de Costa Rica ha demostrado la no factibilidad de dicho proyecto bajo las presentes condiciones. Dentro de las opciones que quedan todavía abiertas para nuestro país, se pueden citar las siguientes: descubrimiento de la existencia de volúmenes comerciales de petróleo en el subsuelo, obtención de alcohol a partir de otras fuentes biomásicas, establecimiento de una red de trolebuses (o un

"metro") que interconecte las principales poblaciones del Valle Central. Dada la riqueza y potencial hidroeléctrico del territorio costarricense, esta última posibilidad puede ser la solución efectiva, a mediano o largo plazo, al problema de transporte y consumo de combustibles a él aparejado.

Este documento analiza los efectos de la posible utilización de los recursos boscosos de la nación como fuente de alcohol carburante, a fin de reducir los volúmenes de petróleo importado.

COMPONENTES DE LA MADERA

Una vez seca la madera, tres son las sustancias que predominan en su composición y que generan sus propiedades estructurales: celulosa, hemicelulosa y lignina. La proporción en que ellas se presentan varía entre las diferentes especies. En general, el contenido de celulosa oscila entre el 40 y el 50 o/o, la hemicelulosa entre el 20 y 30 o/o, y la lignina entre el 15 y 30 o/o. Los porcentajes restantes, del 2 al 15 o/o, están formados por materiales diversos, entre los que se incluye resinas, ceras y grasas, entre otros.

La celulosa es una sustancia polimérica muy similar al almidón: los elementos químicos se encuentran en la misma proporción porcentual que el almidón, y ambas están formadas a partir de la misma unidad básica o bloque de construcción, la D-glucosa. No obstante

lo anterior, en la celulosa las unidades D-glucosa se encuentran entrelazadas de manera diferente a como lo hacen en el almidón, y la cadena polimérica resultante posee un alto grado de linealidad, lo que le da un elevado nivel de cristalinidad. Esto hace que la celulosa sea insoluble, y, a la vez, dificulta grandemente su ruptura en unidades más pequeñas, mediante el uso de enzimas o catalíticos ácidos, en lo que se denomina proceso de hidrólisis. Comparada con el almidón, la celulosa es aproximadamente cien veces más difícil de hidrolizar. Como resultado de la hidrólisis se obtiene una mezcla de azúcares, con el nombre genérico de hexosas, las cuales son fácilmente fermentables por levaduras a alcohol.

La hemicelulosa está íntimamente relacionada con la celulosa. La macromolécula es una mezcla de varios bloques de construcción, con cadenas más cortas que la celulosa y con una estructura tanto lineal como ramificada. Se presenta como un material amorfo, bastante soluble, y es fácilmente hidrolizable por ácidos diluidos a hexosas y pentosas. Estos últimos azúcares son fermentables únicamente con microorganismos especiales.

El término lignina es un nombre genérico que cobija una serie de productos con propiedades y composiciones diferentes. Entre sus unidades básicas de construcción no se incluyen los azúcares, pero sí hay predominancia de los llamados grupos bencénicos. Su estructura es compleja, y el material no es

afectado ni interfiere con los procesos de hidrólisis ácida que degradan a la celulosa y a la hemicelulosa. Sin embargo, cuando la hidrólisis es efectuada por enzimas, el proceso es inhibido grandemente por la lignina, la cual restringe el acceso de las enzimas a la celulosa. Esto representa un mecanismo defensivo para que los productos de la planta viva no sean fácilmente utilizados como alimento por otros organismos, mediante el uso de sus sistemas enzimáticos.

Las denominadas maderas suaves (pino, eucalipto, por ej.) tienen un mayor contenido de lignina que las maderas duras, lo que hace que los rendimientos de azúcares obtenibles por hidrólisis de estas últimas sean mayores. No obstante este hecho, en dichos azúcares predomina un mayor porcentaje de componentes no fermentables por la levadura, mientras que para la madera suave ocurre todo lo contrario. (La fermentabilidad de los azúcares de maderas duras oscila entre 52-62 %; la de las maderas suaves entre 75-80 %). Por tanto, en términos globales, las maderas suaves generan por hidrólisis un mayor porcentaje de azúcares potencialmente fermentables, lo que las señala como la materia prima de preferencia para la obtención de alcohol.

OBTENCION DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS A PARTIR DE MADERA

Al momento presente, cuatro son las alternativas posibles para la obtención de combustibles líquidos a partir

de madera: producción de aceites pesados similares al petróleo, producción de gasolina, producción de metanol y producción de etanol.

La transformación a aceites pesados se encuentra aún en la etapa experimental. Consiste en un proceso de pirólisis a baja temperatura y elevadas presiones, que genera una mezcla de aceites, carbón y gas.

La producción de gasolina se empieza apenas a vislumbrar como una posibilidad. Africa del Sur ha desarrollado tecnología para un proceso similar, que utiliza como materia prima carbón. En ambos casos, el proceso de gasificación para producir sustancias a partir de las cuales sintetizar gasolina, constituye la etapa crítica de la conversión.

Aunque la tecnología para la síntesis de metanol a partir de madera se encuentra un poco más avanzada que para los dos procesos anteriores, su aplicación industrial en gran escala no ha de efectuarse a corto plazo. Mediante gasificación de la madera, y posterior transformación de los productos resultantes, se llega a producir metanol por síntesis. Aproximadamente 38 o/o del contenido energético de la madera se recupera así en la forma de metanol. Se hace imperioso el desarrollo de eficientes procesos de gasificación para el avance de esta tecnología.

La conversión de madera a etanol puede únicamente efectuarse a partir de su fracción celulósica. Mediante un pro-

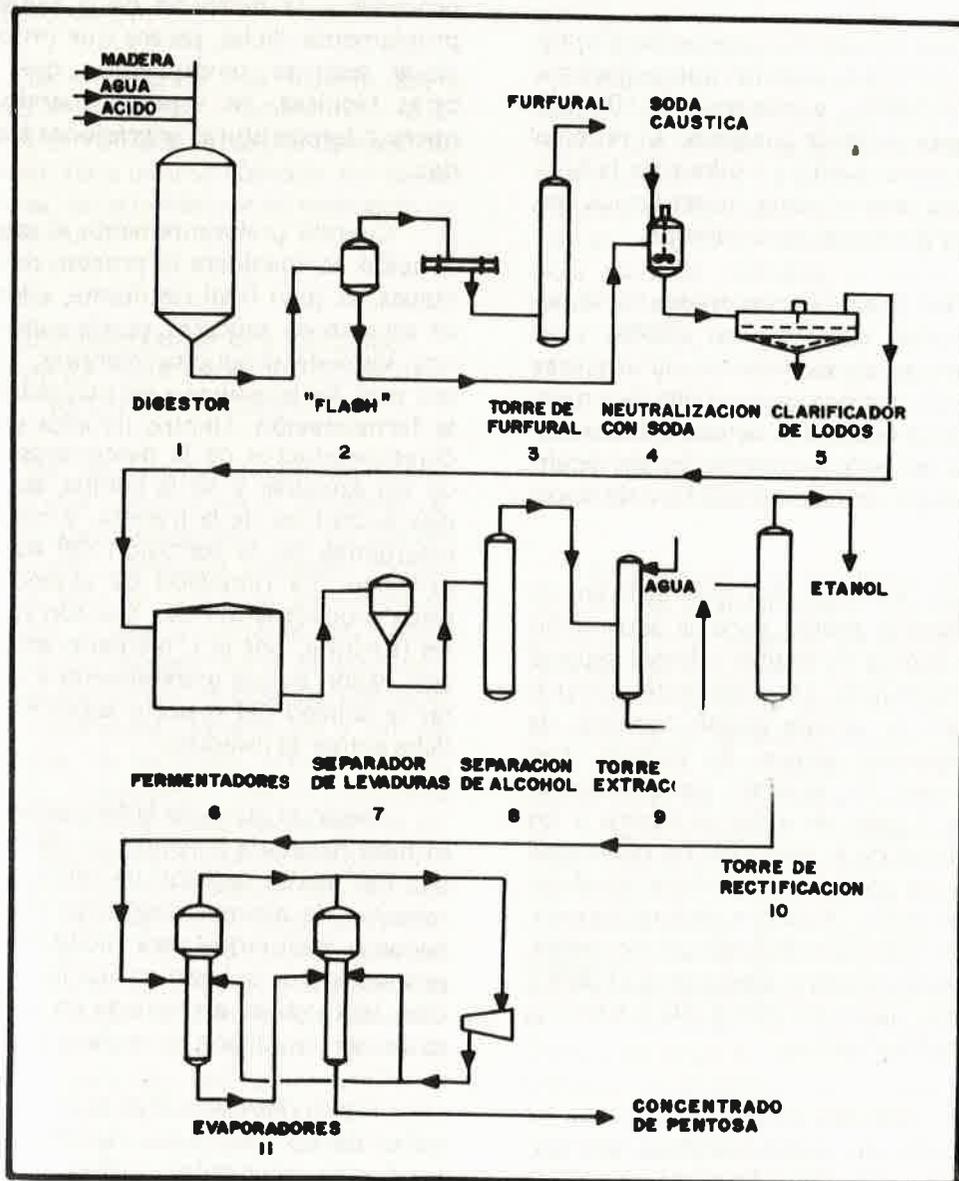
ceso de hidrólisis, la celulosa es descompuesta en azúcares, que luego son fermentados con levaduras para producir alcohol de manera similar a cómo se elabora la cerveza. La tecnología aquí involucrada se encuentra en sus etapas avanzadas de desarrollo y los costos de producción están íntimamente ligados a la alta resistencia que ofrece la celulosa a la hidrólisis, y a la posibilidad de encontrar utilización para la lignina, y para los azúcares no fermentables por levaduras, derivados de la fracción hemicelulósica. Con base en consideraciones tecnológicas, únicamente, esta es la opción a la que Costa Rica podría tener acceso en un futuro cercano.

PRODUCCION DE ETANOL

Como se indicó anteriormente, los procesos involucrados en esta transformación son dos: en una primera etapa, o etapa de sacarificación, la madera, mediante hidrólisis, genera azúcares fermentables a partir de la celulosa que contiene; en la segunda etapa, dichos azúcares son convertidos en alcohol mediante uso de levaduras. La sacarificación puede efectuarse utilizando ácidos inorgánicos (clorhídrico o sulfúrico, por lo general), o bien con la ayuda de enzimas.

Con fines comerciales, tres son las variantes de la hidrólisis ácida que actualmente se investigan: un método con ácido diluido, un método con ácido concentrado, y un método en el cual se separa primero la lignina en una prehi-

Diagrama de obtención de etanol a partir de madera mediante el proceso de Madison



FUENTE: Baker, Andrew J. Gasohol from wood is not yet economically feasible. *Forest Farmer*. Vol. XL. N° 2. Nov.-dic. 1980.

drólisis y luego se efectúa la hidrólisis con ácido diluido.

Para la hidrólisis con ácido diluido se requiere temperaturas que oscilan entre 170-230°C, y presiones de 100-375 libras por pulgada cuadrada. El proceso puede durar desde un minuto a la temperatura más elevada, hasta varios minutos a la temperatura inferior.

Con ácidos concentrados no se necesita altas temperaturas (38°C) y el proceso tiene una duración de unas tres horas. Se obtiene porcentajes de azúcares más altos que si se usara ácidos diluidos, pero la recuperación del ácido constituye un problema difícil de resolver.

En los métodos que utilizan un tratamiento previo para la separación de la lignina es posible además separar la hemicelulosa. Un disolvente apropiado para la lignina puede consistir de una solución acuosa de alcohol, tres fracciones se separan independientemente. Luego de aislar la lignina y los productos de la hidrólisis de la hemicelulosa, se procede a hidrolizar la celulosa con ácido diluido o enzimáticamente. Los hidrólisis enzimáticos no necesitan temperaturas elevadas (20-38°C) pero requieren de medio día a tres días para su finalización.

El proceso de hidrólisis puede ser conducido en forma continua, por percolación, en una sola etapa, o en dos etapas. Esta última posibilidad, que incluye la prehidrólisis para la separación

de la lignina y los productos de la hidrólisis de la hemicelulosa, antes de proceder a la hidrólisis de la celulosa propiamente dicha, parece que proporciona mejores rendimientos que las otras técnicas, en especial cuando se opera a temperaturas y presiones elevadas.

Cuando preferentemente la sacificación no involucra el proceso de dos etapas, el jugo final resultante, además de ser rico en azúcares, puede contener una serie de productos menores, tóxicos para las levaduras a ser utilizadas en la fermentación. Dentro de ellos se incluye productos de la descomposición de los azúcares y de la lignina, sustancias extraíbles de la madera, y metales resultantes de la corrosión del equipo utilizado. La remoción de algunos de estos productos tóxicos, que son volátiles (furfural, por ej.), mediante arrastre con vapor, ayuda grandemente a mejorar la calidad del sustrato sobre el cual debe actuar la levadura.

Previo al inicio de la fermentación, se hace necesaria la regulación de la acidez del medio (adición de cal) y el suministro de algunos nutrientes nitrogenados y fosforados para facilitar la reproducción de la levadura. La fermentación es también estimulada en algunos casos por la adición de melaza o malta.

Como resultado final se obtiene alcohol de 95 0/o, y los siguientes subproductos principales: furfural, lignina y una mezcla de pentosas. En la figura adjunta se presenta el proceso completo

de obtención de etanol a partir de madera, usando para la hidrólisis la técnica de percolación.

Si se utilizara una madera suave, como el eucalipto, rendimientos de alcohol de 180-200 litros por tonelada de madera (dos metros cúbicos) son de esperarse, de acuerdo con lo reportado en la literatura.

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO MADERA PARA LA PRODUCCION DE ALCOHOL EN COSTA RICA

Del total de cinco millones de hectáreas que constituyen el territorio nacional, aproximadamente unos dos millones aún presentan arbolado aprovechable, con un probable gran total de ochenta y cuatro millones de metros cúbicos de madera. Parte de este volumen se encuentra en bosques con especies maderables comerciales y no comerciales, de los cuales, con técnicas de manejo apropiado, podría extraerse cuarenta y ocho millones de metros cúbicos de madera. De otros bosques, con técnicas más sofisticadas de explotación, es posible obtener unos seis millones de m³ de madera. Existen además en el país otras áreas arboladas, que se ha calculado contienen un volumen aproximado a treinta millones de m³ de madera, pero que por lo inaccesible de su ubicación, con pendientes de hasta un 70 0/o, no es posible explotaras. En las cifras aquí mencionadas se encuentran incluidas las áreas protegidas por parques nacionales.

La deforestación controlada y no controlada del bosque costarricense se estima equivale someramente a unas sesenta mil hectáreas anuales, hasta muy recientemente. De esta área destruida, llega a los aserraderos para su procesamiento un millón cuatrocientos mil m³ de madera en forma de troza. Conservadoramente, de esas trozas se logra aprovechar un 24,5 0/o en la forma de madera aserrada, tableros, y como pulpa para la fabricación de papel. El volumen restante, un millón cincuenta y siete mil m³, está conformado por la corteza, costillas y otras subproductos de aserrío, los cuales se utilizan en la forma de palos, postes, y como leña para la cocción de alimentos.

Si se iniciara un programa de producción de alcohol a partir de los residuos de los aserraderos, y a expensas de quienes los utilizan en la actualidad para otros fines, dicho volumen de madera sería en la actualidad capaz de producir a través de la hidrólisis ácida, y en condiciones de máxima eficiencia, ciento cinco millones, setecientos mil (105.700.000) litros de alcohol. (En estos cálculos se asume un rendimiento de alcohol similar al del eucalipto. En la práctica el rendimiento debe ser menor, debido a la abundancia de maderas duras en los residuos). Esto representaría un 14 0/o del total de carburantes, diesel y gasolina, consumidos por el país. Para generar ese volumen de alcohol, se necesitaría una planta con una capacidad de producción de doscientas treinta y seis ton/día, cuya operación puede que no sea rentable, económicamente. Si se

quisiese sustituir el 50 % de los carburantes por alcohol de madera, se requeriría anualmente unos trescientos setenta y ocho millones de litros de alcohol. Dicha cantidad es equivalente a la producción generada por treinta mil doscientas cuarenta (30.240) hectáreas de eucalipto de cinco años de edad (1.000 has. producen 125.000 m³ de madera al término de cinco años).

De las cifras anteriores resulta evidente la imposibilidad de producir alcohol a partir de los residuos de aserrío, sin que al mismo tiempo se produzcan cambios económicos y sociales serios en el país. Es además imposible dedicar los actuales recursos boscosos a la producción de alcohol, ya que ellos son más valiosos económicamente como fuente de madera y materiales de construcción. Sin embargo, de ellos se podría utilizar los residuos de su extracción que se abandonan en el bosque, y que representan un 30 % del volumen total de los árboles talados.

Al fin de asegurarse una fuente efectiva de materia prima para la obtención de alcohol carburante a partir de madera, la única alternativa posible para el país es la recuperación forestal de las tierras marginales, mediante un programa emergente de reforestación con especies de rápido crecimiento. Un programa de esta naturaleza tendría que iniciarse con la repoblación de al menos cuatrocientas mil hectáreas en las regiones que han sido más explotadas, como lo son Sarapiquí y San Carlos.

A mediano plazo, y en bien del interés nacional, deberán ser reforestadas un millón doscientas mil hectáreas, para evitar que tierras que han sido abandonadas por malas prácticas de cultivo lleguen a un nivel de erosión tal que su recuperación resulte muy costosa para la nación.

La acción de repoblar el país con especies maderables es anterior y necesaria a cualquier proyecto para obtener alcohol de la madera, que en el futuro pueda llegarse a ejecutar. A continuación un método de ordenación forestal de ciclo continuo permitiría el aprovechamiento de esos bosques artificiales y reduciría la presión que sobre el bosque natural se da en la actualidad, el cual, de continuar los ritmos actuales de tala, sin programas efectivos de reforestación, desaparecerá en unos veinticinco años. La reforestación traería, además, el beneficio social que conlleva el establecer fuentes de empleo en las regiones rurales, lo que reduciría el éxodo de los campesinos al sector urbano.

ASPECTOS ECONOMICOS Y TECNOLOGICOS DE LA PRODUCCION DE ALCOHOL

Aunque Costa Rica posee los recursos humanos y necesarios para desarrollar la tecnología de producción de alcohol a partir de madera, la puesta en marcha de un proyecto de esta naturaleza, a corto plazo, obligaría a la compra de un paquete tecnológico que puede no provea las condiciones óptimas

de producción deseables para nuestro país.

Los costos de instalación y operación de una planta productora de alcohol son muy elevados, y esto debe de mover a nuestros dirigentes a proceder con cautela en la toma de decisiones para la instalación de una o varias de estas industrias. Una planta con una capacidad instalada máxima de trescientos setenta y ocho millones de litros de alcohol por año (equivalente a la mitad de los carburantes consumidos en Costa Rica en transporte automotor anualmente), en 1975 tenía un costo de instalación de ciento ochenta y cinco millones de dólares. Asimismo, sólo las plantas con altos volúmenes de producción arrojan niveles razonables de rentabilidad.

La disponibilidad de ciertos equipos y materiales, y su costo, debe igualmente sopesarse cuidadosamente. Los reactores y ácidos requeridos para la hidrólisis caen en este grupo.

Dado que los procesos de hidrólisis conllevan la utilización de temperatura y presión, los reactores utilizados en esta etapa del proceso son de costo elevado y presentan un deterioro relativamente rápido.

En la transformación global de dos etapas con prehidrólisis, las cantidades de ácidos requeridos son bastante bajas: 20-25 kg de ácido sulfúrico por tonelada de madera. Aunque en el país ya existe una planta para la fabricación de

ácido sulfúrico, debe determinarse muy claramente si su capacidad de producción puede acomodar las demandas de ácido impuestas por la operación de una o más plantas productoras de alcohol. De ser su capacidad muy limitada, podría pensarse en la instalación de una planta productora de ácido clorhídrico mediante reacción de cloro e hidrógeno, generados electrolíticamente.

La rentabilidad de la operación de una planta productora de alcohol está en gran medida determinada por la posibilidad de encontrar usos para los subproductos de la conversión. El tipo de madera a utilizar está también fijado por tal condición.

La lignina actualmente presenta usos muy restringidos: puede emplearse como fuente de cantidades limitadas de vainillina, y para la obtención de fibras artificiales o fenol. Estas dos últimas posibilidades se empiezan apenas a desarrollar.

El furfural tiene utilización como adhesivo o para la síntesis de productos más complejos.

La fracción compuesta por las pentosas es la que se vislumbra con aplicaciones más inmediatas: su transformación en etanol se investiga activamente, concentrada puede usarse como alimento para animales, y mediante microorganismos apropiados es factible obtener de ella proteínas, ácidos orgánicos y cetonas. La producción del edulcorante artificial xilitol, a partir de la

xilosa, también ya se ejecuta hoy en día.

Considerando que las maderas duras originan un mayor porcentaje de pentosas, el no encontrar aplicaciones comerciales para tales productos hace que su empleo como materia prima para la obtención de alcohol debe descartarse de los planes de producción.

Entre los aspectos de calidad ambiental cabe destacar los problemas de eliminación de los desechos de pentosas, cuando la planta productora de alcohol no tiene ningún uso para ellos. Es de esperar que serios problemas de contaminación de ríos y riachuelos se produzcan si a los residuos no se les trata apropiadamente.

RECOMENDACIONES

La producción de alcohol a partir de madera puede representar una solución viable a los problemas de importación de carburantes que encara el país. Si un estudio serio de factibilidad arroja resultados positivos para una empresa de esta naturaleza, dentro de su planeamiento, la nación debe abocarse al desarrollo de los siguientes programas, a fin de crear la infraestructura necesaria para su puesta en marcha:

1. Financiamiento de un programa cooperativo entre los varios cen-

tros de educación superior, para el desarrollo y perfeccionamiento de la tecnología envuelta en la producción de etanol a partir de madera, y la utilización de los subproductos del proceso. Esto aseguraría la autosuficiencia tecnológica, e inyectaría un estímulo de producción a la industria nacional. Con miras a más largo plazo, un programa similar para la obtención de metanol a partir de madera debe ser iniciado.

2. Ampliación de la planta de ácido sulfúrico existente, o instalación de nueva planta (de ácido clorhídrico o sulfúrico), a fin de asegurarse una fuente nacional estable que supla las necesidades de ácido de las plantas productoras de alcohol.
3. Establecimiento de un programa intensivo de reforestación con variedades de madera suave, de rápido crecimiento, nativas o introducidas, que asegure la existencia de los volúmenes necesarios de materia prima para la operación de las plantas. Independientemente de la puesta en marcha de un programa de producción de alcohol a partir de madera, esta es una imperiosa necesidad si es que no se desea la destrucción completa de la calidad del ambiente costarricense a corto plazo.

BIBLIOGRAFIA

- BAKER, Andrew J. **Gasohol from wood is not yet economically feasible.** *Forest Farmer*. Vol. XL-Nº 2. Nov.-dic. 1980.
- Combustível da madeira — uma realidade na matriz energética do Brasil. *Brasil Forestal*. 3 (38): 48-51. 1979.
- SAEMAN, Jerome F. y YOUNGS, R.L. **Wood utilization priorities as set by energy and materials shortages.** Society of American Foresters Convention. St. Louis, Mo. 1978. Proceedings. Montana. 1978. Pp. 451-455.
- SKOG, Kenneth E. **The economies of wood fuel use.** Mid-American Wood Combustion Conference. Traverse City. Michigan. 1979. Proceedings. Michigan. 1979. Pp. 25-31.
- SPRINGER, Edward L. y LIBKIE, K. **Prehydrolysis of birch wood with sulfur dioxide.** *Tappi*. 63 (7): 119-120. 1980.
- SPRINGER, Edward L. **Should whole-tree chips for fuel be dried before storage?** Madison. Wisconsin. Forest Products Laboratory. Research note FPL-0241. Diciembre. 1979.
- ZERBE, John I. **Wood residue potencial for energy.** Presented at the Bio-Energy '80 World Congress and Exposition. Atlanta. Ga. Abril, 21-24. 1980.
- UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. **La producción de alcohol carburante en Costa Rica: Evaluación y perspectivas.** Serie divulgación económica. Nº 22. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Marzo. 1981. 209 pp.