

DEFINICIÓN Y ALCANCES DE LA ALCOQUÍMICA: LA CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y SU IMPACTO EN EL PROCESO ALCOQUÍMICO

Jesús E. Larrahondo A. Ph. D.

Asesor Científico, Corporación Biotec

INTRODUCCIÓN

La crisis energética dio origen al desarrollo de una política económica y técnica desde 1970, lo cual generó en varios países, como Estados Unidos, buscar reducir la dependencia del petróleo importado. El etanol se perfiló como un recurso energético sostenible, de alta viabilidad técnica a partir de fuentes vegetales como la caña de azúcar y microorganismos como levaduras que realizan la fermentación de azúcares que pueden provenir directamente de los jugos de la caña de azúcar, de su biomasa de origen agrícola y/o de sus mieles (subproductos) provenientes del proceso azucarero.

El 19 de Septiembre de 2001 el Congreso de la República de Colombia expidió la ley 693 la cual pretende controlar la contaminación del Medio Ambiente, mediante el uso de oxigenantes en la gasolina, lo cual impulsó la producción de bioetanol, puesto que éste se perfilaba como un biocombustible de fuentes renovables que permitían reducir las emisiones de dióxido de carbono (Grupo Manuelita, 2007).

El etanol ha sido obtenido por fermentación de diversos sustratos, principalmente de la agro-industria azucarera, aunque es posible obtenerla de otras fuentes ricas en almidón o celulosa. Los principales microorganismos responsables de la fermentación de estos sustratos son la levaduras como la *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias como *Zymomona mobilisis* (Garzón, S. C; Hernández, C., Trabajo de grado, 2009). La melaza, miel B como subproducto del proceso azucarero, se ha convertido también en un sustrato de alto interés para la obtención de alcohol. Las mieles o melazas están compuestas principalmente de diversos azúcares los cuales pueden ser fermentados por levaduras o bacterias, generando así un valor agregado para estos subproductos.

En general, el auge a escala mundial del etanol como biocombustible se fundamenta en dos grandes realidades: por un lado la localización y obtención del petróleo y los altos costos de sus derivados y, por otro lado, los altos niveles de contaminación ambiental que estos producen (Briceño y Calero, 2004).

Una mirada al año 2025, asume que el bioetanol celulósico, solo será comercialmente viable y disponible a gran escala hasta el año 2015. Además, el etanol se espera tenga un gran valor como oxigenante hasta una mezcla de gasolina-etanol del orden de 85% de gasolina y 15% de etanol, en países como Estados Unidos, a pesar de algunas resistencias en su uso debido posiblemente a una disminución de la relación millas por galón (USDA 2008).

Las materias primas vegetales que pueden potencialmente usarse para producir etanol carburante es muy diverso, aunque incluyen preferiblemente las ricas en carbohidratos (azúcares), las cuales se pueden clasificar como:

- a) Directamente fermentables
- b) Indirectamente Fermentables

Las primeras (directamente fermentables) no requieren de transformación previa, como la sacarosa, la glucosa y fructuosa. Para las segundas, si es necesario realizar la conversión o transformación previa en azúcares sencillos como la Glucosa. Entre los indirectamente fermentables se encuentran los almidones y la celulosa. La conversión de sustancias, como el almidón en glucosa, se conoce como *Sacarificación*, la cual se puede realizar por medio de procesos ácidos o preferiblemente biológicos (Enzimas Amilolíticas).

Composición química de la caña

La composición química de la caña y especialmente su calidad y concentración de azúcares, depende de la interacción de varios factores, tales como la localidad (tipo de suelo), condiciones del clima, variedad, edad de la caña, estado de madurez, tiempo entre corte-molienda y contenidos de materia extraña incorporados durante el corte y alce. En general, la composición promedia de los diferentes constituyentes en los tallos y jugos, se puede observar en el Cuadro 1 (Meade-Chen, 1977).

Cuadro 1. Composición Química (%) de los tallos y los jugos de la caña de azúcar

CONSTITUYENTE QUÍMICO	PORCENTAJE (%)
EN LOS TALLOS	
Agua	70-76
Sólidos	24-30
-Sólidos Solubles (brix)	10-16
-Fibra (seca)	14-17
EN EL JUGO	
Azúcares	
-Sacarosa	75-92
-Glucosa	2-4
-Fructuosa	2-4
-Polisacáridos (almidones)	0.001-0.05
Sales	
-Inorgánicos	3.0-3.4
-Orgánicas	1.5-4.5
Ácidos Orgánicos	1-3
Aminoácidos	1.5-5.5
Proteínas	0.5-0.6

En términos globales la caña está constituida por jugo y fibra, siendo la fibra la parte insoluble formada por Celulosa. El cuadro 1 revela que en la Caña de Azúcar el contenido de agua oscila entre el 70% y el 76%. Entre los Azúcares más sencillos se encuentran la Glucosa y la Fructuosa (denominados azúcares reductores), que existen en baja proporción en el jugo de caña que logra su máximo estado de maduración (edad óptima). La calidad del azúcar crudo y de otros productos como el color y el grano (dureza) del dulce, dependen en buena parte, de la proporción de estos azúcares reductores, los cuales cuando aumentan por causa del deterioro (tiempos altos de permanencia en el campo o fábrica, después del corte) o la inmadurez de la planta (baja edad de cosecha), pueden producir incrementos en el color y grano defectuosos en productos como la panela.

Además de los azúcares contenidos en el jugo, existen otros constituyentes químicos de naturaleza orgánica e inorgánica, representados por sales de ácidos orgánicos, minerales, polisacáridos y otros no azúcares. La calidad de los jugos y contenidos de estas no-sacarosas en el jugo afectan no solo el procesamiento de la caña, la recuperación de sacarosa (como azúcar comercial), sino también los rendimientos de producción de etanol a partir de los jugos y/o de sub-productos como las mieles (miel B o miel C). El contenido de almidones en el jugo es bajo, (aproximadamente entre 50 y 70 mg/L); se ha encontrado que ésta es una característica ligada a las variedades, que puede ser modificada (reducida) mediante el riego y la fertilización con potasio.

En la producción de etanol, el empleo de cañas inmaduras (caña joven) o deterioradas pueden generar problemas, debido a la posible presencia de sustancias indeseables para la fermentación como los ácidos orgánicos, pues como se indicó para la producción de alcohol lo que más interesa es la cantidad de azúcares totales y directamente fermentables (sacarosa, glucosa y fructuosa).

La glucosa es un componente normal de la caña de azúcar en cualquier fase de desarrollo. La fructuosa se encuentra en mayores concentraciones en cañas que aún no alcanzan su madurez fisiológica y disminuye conforme la planta madura. Sin embargo, después del

corte y/o cosecha, una gran proporción de estos azúcares son un sustrato para la acción de varios microorganismos, transformándose en otros productos tales como ácidos volátiles de bajo peso molecular, no deseables para el proceso de fermentación o acción de las levaduras.

Calidad de la caña y seguimiento de las pérdidas de sacarosa

Los factores que afectan la calidad de la caña se pueden dividir en dos grandes grupos, a saber:

- a) Factores que afectan la calidad de la caña de azúcar antes del corte.
- b) Factores que afectan la calidad de la caña de azúcar después del corte.

Entre los factores que afectan la calidad de la caña antes del corte como se mencionó anteriormente, están relacionadas con:

- 1. La variedad
- 2. Las prácticas culturales
- 3. La edad y la época de corte

Los principales factores que afectan la calidad de la caña después del corte y relacionados especialmente con las pérdidas de sacarosa y la producción de azúcar y etanol, son los siguientes:

- 1. Grado de quema y tiempo entre corte-molienda
- 2. Contenido de basuras o material extraño
- 3. Acción de los microorganismos

El deterioro de la caña y la pérdida de sacarosa entre el corte y la molienda han sido objeto de varios estudios, bajo las condiciones del Valle del Cauca (Colombia) y en diferentes países o sectores azucareros (Larrahondo, J. E.; Briceño, C.O.; 2004). La tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales, de la variedad y del sistema de

cosecha. Cuando el corte es mecánico, el deterioro es mayor, debido al incremento de las infecciones de origen bacteriano en los tallos.

En el Valle geográfico del Río Cauca se ha encontrado que cuando la caña se quema, las pérdidas promedias son de orden del 3% de la sacarosa % caña (equivalente a una reducción de 0.45 unidades). Los resultados muestran una tasa promedio de pérdidas de sacarosa %caña del orden de 0.02 unidades (%) por hora en las primeras 50 horas del corte y apilamiento de la caña entera dejada en condiciones de campo. Mayores pérdidas de sacarosa han sido observadas cuando la caña se apila en grandes arrumes (2000 toneladas) en los patios de la fábrica, donde se han observado, para tallos enteros pérdidas equivalentes de 5 días (120 horas) de caña dejada en el campo para un día (24 horas de apilamiento en patios de fábrica. Cuando la caña es cosechada mecánicamente (trozos promedio de 30 cm) la tasa de pérdidas de sacarosa son tres veces mayor que la observada en tallos enteros (0.060 unidades porcentuales/hora para la caña trozada) en las primeras 72 horas después del corte y cosecha. Las disminuciones en los niveles de sacarosa en los jugos están acompañadas, después de la cosecha, por incrementos en los azúcares reductores y descensos en el pH (mayor acidez), tanto en cañas trozadas (quemadas y sin quemar), como en cañas enteras. Este incremento de acidez, por causa de biotransformaciones de los azúcares reductores en ácidos orgánicos inducidos por los microorganismos, afecta posteriormente la actividad y acción de las levaduras durante la etapa de fermentación de los jugos y/o mieles para la producción de etanol o alcohol carburante.

El porcentaje (en peso) de materia extraña es otro indicador de la calidad después del corte. La materia extraña está formada por suelo, hojas, cogollos y chulquines, que afectan tanto el proceso azucarero y la calidad de los materiales destinados a la producción de etanol. El régimen de lluvias puede influir en los contenidos de materiales extraños, ya que se espera una mayor adherencia de suelos o lodos a los tallos de la caña cosechada y entregada a la fábrica.

Estudios realizados por Cenicaña (Larrahondo, J. E.; Briceño, C.O.; 2004) demostraron que por cada unidad (en porcentaje) de materia extraña puede reducir el rendimiento o niveles de sacarosa entre 0.14 y 0.20 unidades porcentuales. Además, de las pérdidas o reducciones en sacarosa, la presencia de 1% de materia extraña puede ocasionar incrementos entre 0.1 (%) y 0.8 (%) en la fibra % caña.

El material extraño, especialmente aquel constituido por cogollos, tiene una alta incidencia en los niveles de color y de impurezas como los polisacáridos solubles, fenoles y amino-nitrógenos. Estos constituyentes químicos afectan el proceso de cristalización, la calidad final del azúcar en relación con su color y la producción final de etanol a partir de las mieles.

Los agentes microbiológicos, en especial las bacterias como *Leuconostoc mesenteroides* y *L. Dextranicum*, también afectan la calidad de los jugos después del corte de la caña. Estas bacterias dan origen a polisacáridos como las dextranas utilizando la sacarosa como materia prima, y contribuyen así, a la pérdida de esta última (Cenicaña, 1995). Niveles de dextranas de 0.05 (%) en azúcares crudos correspondieron a pérdidas (%) de sacarosa del orden de 0.20 (2 kg / tonelada de caña). Además, de las pérdidas de sacarosa a consecuencia de la formación de dextranas, estos polímeros incrementan la viscosidad de los jugos, creando problemas en los evaporadores y tachos. Adicionalmente, las dextranas causan elongación de los cristales de azúcar a lo largo del eje “C”, lo cual, se denomina técnicamente como cristal aguja. Los principales subproductos originados durante la acción microbiológica de *Leuconostoc* y de otros microorganismos como las denominadas levaduras salvajes después del corte de la caña, son los ácidos acético, láctico y butírico, los cuales elevan la denominada acidez volátil, la cual afecta negativamente la actividad de la levadura (*Saccharomyces*) en la etapa de fermentación y causa descensos en la producción de alcohol carburante. Las investigaciones de Egan y Rehbein (1963) en Australia, demostraron que las poblaciones de *Leuconostoc* se elevan rápidamente cuando la caña se quema y se troza durante la cosecha mecanizada, produciéndose altos niveles de dextranas (Cenicaña, 1995).

Limitantes de la fermentación y producción de etanol.

Las levaduras, presentan cierta resistencia a las concentraciones de alcohol que se producen durante la fermentación, debido a que el etanol, inhibe el transporte de D-xilosa, amonio, glicina y algunos aminoácidos. En conclusión, la tolerancia de la levadura al alcohol depende de la habilidad de la célula para exportar el etanol del interior al medio externo, un proceso que depende de la composición de la membrana y de la fluidez de la misma. La célula modifica la composición en ácidos grasos de la membrana para minimizar los efectos de la fluidez que produce el etanol, de esta forma las levaduras pueden adaptarse a altas concentraciones de alcohol, para lo cual debe existir un incremento del contenido de ácidos grasos insaturados con respecto a los saturados y un aumento en la longitud de las cadenas carbonadas de los ácidos grasos (**Garzón, S. C.; Hernández, C.; 2009**).

En relación a la acidez del sustrato, como se mencionó anteriormente, el pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación debido a que las levaduras se ven afectadas por el ambiente en el cual se desarrollan. Las levaduras tienen rango óptimo de pH que van desde 3.5 hasta 5.5. Las concentraciones altas de azúcares afectan los procesos de osmosis dentro de la membrana celular, el rango óptimo de concentración de azúcar es de 10% a 18%, puesto que a concentraciones de 22% las levaduras empiezan a tener problemas en su proceso de respiración celular (**Garzón, S. C.; Hernández, C.; 2009**).

Fuentes con un alto contenido de azúcares simples y fermentables como la glucosa, fructuosa y sacarosa, son materias primas ideales para la producción de etanol. La ventaja de utilizar este tipo de fuentes, como los jugos de caña de azúcar, remolacha azucarera, melazas y jugos de frutas, consiste en que no es necesario realizar tratamientos previos para obtener los azúcares fermentables. Fuentes con alto contenido de almidones, como por ejemplo el maíz, cebada, arroz y otros, deben ser tratadas previamente para obtener los azúcares fermentables. En este caso, estas fuentes deben someterse previamente a un proceso de hidrólisis del almidón, con el fin de romper este biopolímero en azúcares fermentables, para estar disponibles para la acción de los microorganismos encargados de

la fermentación alcohólica. Otras materias primas con alto contenido de celulosa son las fuentes más abundantes de biomasa a nivel global, y su uso ha tenido un creciente interés para la producción de etanol; sin embargo, la compleja composición química y su transformación en azúcares fermentables como la glucosa, a gran escala, ha planteado retos tecnológicos que aun no han podido ser satisfactoriamente superados.

La melaza o miel final (miel C) es un subproducto final de la elaboración del azúcar de caña. Este subproducto ha sido tradicionalmente utilizado como un sustrato adecuado y económico para la producción de etanol. Sin embargo, en una producción dual (azúcar y etanol) en Colombia, se ha optado por utilizar la miel B, la cual es más rica en azúcares fermentables que la registrada en la miel C o melaza. Nutricionalmente estos sustratos presentan un altísimo contenido de carbohidratos, además de vitaminas del grupo B y abundantes minerales, entre los cuales se destacan el hierro, cobre y magnesio.

Cuando se utiliza la melaza o miel final para la producción de etanol, este sustrato debe recibir un tratamiento previo antes de la fermentación para eliminar impurezas que podrían dificultar el proceso. Estos procesos incluyen:

- **Esterilización:** las mieles pueden contener microorganismos como la bacteria *Leuconostoc mesenteroides*, el cual polimeriza las moléculas de sacarosa en dextranas, que son no fermentables.
- **Dilución:** Para disminuir la concentración de azúcares y sales que impiden que las levaduras puedan fermentar las mieles, debido a la gran presión osmótica que generan sobre sus paredes celulares.
- **Adición de Nutrientes:** Para complementar los nutrientes necesarios para las levaduras que realizarán la fermentación, es necesario añadir algo de nitrógeno y fósforo, especialmente a las melazas

BIBLIOGRAFIA

- Briceño, Carlos O., Calero, Claudia Ximena (2004). Etanol como combustible para vehículos. Carta trimestral I 2004-Cenicaña.
- Cenicaña (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1995. El cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia. Cassalett, C.; Torres, J.; e Isaacs, C. (eds). Cali, Colombia. 412 p.
- Garzón, S. C.; Hernández, C. (2009). Estudio Comparativo para la Producción de Etanol. Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira. 132 p.
- Grupo Manuelita (2007). Quienes Somos, Historia: El Etanol en el Mundo, en: <http://www.manuelita.com>.
- Egan, B. T.; Rehbein, C. A. (1963). Bacterial deterioration of mechanically harvested cup up sugarcane during storage over weekends. Proc. Queensland Soc. Sugarcane Tech. 30:11-19.
- Larrahondo, J. E. y Briceño, C. O. (2004). Una aproximación a la reducción de las pérdidas de sacarosa entre cosecha y molienda en el sector azucarero Colombiano. Cali: Cenicaña. 22p (Serie de Procesos Industriales N° 3).
- Meade, G. P. y Chen, J. P. (1977). Cane Sugar Handbook. 10 Ed. Willey-Interscience Publications, John Wiley and Sons, New York. 947 p.
- USDA, 2008. U.S. Biobased Products: Market potential and projections through 2005, 293 p.