

# CAPÍTULO 17

## CONTROL DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

### **Autores**

Oscar A. Diez

Patricia A. Digonzelli

Jorge Scandaliaris

Eduardo R. Romero

## CONTROL DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA



### INTRODUCCIÓN

Los niveles de recuperación de azúcar que se obtienen en Tucumán, requieren ser mejorados permanentemente para propiciar incrementos de la rentabilidad de la agroindustria de la caña de azúcar. Las tecnologías incorporadas recientemente a los sistemas productivos de la zona cañera (variedades, sistema de cosecha, madurativos, plantación, cultivo, etc.) han permitido lograr importantes avances en la reducción de costos, en el incremento de la producción cultural y en la mejora de la calidad de la materia prima. Sin embargo, esta última, según estudios realizados por la EEAOC, presenta un potencial de mejora que aún debe ser aprovechado.

Concebir al pago de la materia prima como una simple vinculación entre el precio del azúcar y el precio de la caña, sin considerar los valores de sacarosa y en el futuro próximo los de fibra, trae como consecuencia la falta de estímulo en el productor cañero para mejorar el manejo y la cosecha del cultivo y por ende afecta directamente la rentabilidad de la agroindustria.

Una forma para lograr incrementos en el rendimiento sacarino de la materia prima es establecer sistemas de medición de calidad más justos, precisos y transparentes, que permitan la reducción de los costos de cosecha y transporte, y signifiquen un incentivo que estimule al productor a enviar a la fábrica caña de mejor calidad.

Implementar un sistema de medición de calidad de caña de estas características no es sencillo y basta con advertir cómo los diferentes sistemas aplicados en los países azucareros han sido siempre motivos de controversias entre las partes.

Definir el camino para establecer un sistema de estas características exige considerar, al menos, tres aspectos:

- 1) ¿Cuál será el sistema de pago a utilizar?
- 2) ¿Cómo debe ser evaluada la caña de azúcar?
- 3) ¿Cuál debe ser la proporción del valor total que le corresponderá al cañero?

Planteado así el problema queda en claro la gran dependencia de cualquier sistema de control de calidad con el área cañera, ya que el mismo deberá estar asociado a las características de la agroindustria y del método de control factible de utilizar en las fábricas.

Algo digno de destacar, es el hecho de que nuestro país fue el primero en latinoamérica en introducir un sistema de pago de caña por análisis individual de calidad.

Con el advenimiento de la cosecha mecanizada, se comenzó a percibir la necesidad de incorporar en la valoración de la caña el contenido de fibra, a fin de corregir las desviaciones que pudiera producir el aumento de los *no azúcares* en la materia prima.

Actualmente el concepto de *Azúcar Recuperado* es el que debe primar, ya que es el que está asociado a la rentabilidad agroindustrial. Este concepto puede ser evaluado de diferentes maneras: por un lado el denominado *Método Indirecto*, que valora a partir de las determinaciones de Pol% y Pureza en el Jugo de Primera Presión, y por otro el *Método Directo* que muestrea y analiza caña, determinando, además de los valores en jugo, la Fibra% caña.

### MÉTODO INDIRECTO

En este método la valoración de la calidad de la caña se realiza a través del análisis de Jugo de Primera Presión<sup>1</sup> (desmenuzador o masas de entrada al primer molino de fábrica) y en algunos casos, submuestras del Jugo Primario<sup>2</sup>, entendiéndose a éste como el jugo de la caña sin dilución.

Este sistema presenta resultados aceptables cuando la materia prima está libre de trash y

1: **Jugo Primera Presión:** Jugo extraído por las dos primeras masas de un tandem de molienda.

2: **Jugo Primario:** El jugo extraído en molinos sin dilución con agua.

con buenas condiciones de manejo (sin deterioro). Esto implica que el sistema indirecto de control de calidad, debe ser acompañado por un buen manejo en la cosecha, el transporte y el canchón, a fin de evitar estacionamientos prolongados que provocarían errores insalvables en los resultados obtenidos.

En el Método Indirecto deben tomarse los recaudos necesarios para evitar la mezcla de caña de diferentes productores en el conductor principal del tandem de molienda. Es preferible marcar el inicio y final de la muestra a fin de hacer coincidir la extracción del jugo mientras dure el proceso de molienda de la misma. Existen sistemas de marcación automáticos que permiten acompañar a la muestra desde su posición en la mesa alimentadora hasta el primer molino.

Es conveniente tomar la muestra del jugo a lo largo de la masa del equipo de primera presión en una relación de 2 a 3 litros por tonelada de caña molida. Una submuestra perfectamente homogénea debe ser derivada al laboratorio para las determinaciones analíticas.

Una alternativa para mejorar las operaciones de toma de muestra del jugo, es un sistema constituido por un par de bombas dosificadoras, que desde un pulmón recolector envían proporcionalmente una submuestra directamente al laboratorio.

Cualquier otra forma de codificación, que permita la correcta identificación de la muestra, es mejoradora del sistema, en el sentido de garantizar la individualidad del resultado.

### Determinaciones analíticas

Para la aplicación del sistema es necesario realizar dos determinaciones físico-químicas sobre el jugo muestreado:

- El contenido de Sólidos Solubles Totales % (Brix%<sup>3</sup>)
- El contenido de sacarosa aparente % (Pol%<sup>4</sup>). Cada una de estas determinaciones pueden realizarse de dos maneras diferen-

tes, en función de la disponibilidad de equipamiento.

### Determinación de Brix%

Se efectúa por lectura en un aerómetro con escala en grados Brix a temperatura controlada, o por la determinación con refractómetro. El aerómetro (Brixómetro<sup>5</sup>) es un equipo de peso constante capaz de evaluar el cambio volumétrico sobre una escala calibrada, mientras que el refractómetro, es un instrumento capaz de compensar el cambio de dirección de la luz al atravesar la interfase entre dos medios. En ambos casos, debe observarse la ausencia de material en suspensión y de aire incluido, ya que inciden en el resultado final (Figura 1).



Figura 1: Determinación en laboratorio del Brix%.

### Determinación de Pol% jugo

Se puede realizar sobre lectura directa de una submuestra clarificada, o aprovechando la definición del grado sacarimétrico<sup>6</sup> sobre una solución de 26 gramos de jugo disuelta hasta 100 ml con agua destilada libre de materia orgánica. A su vez, cada determinación puede efectuarse con polarímetros ópticos o digitales (Figura 2).

Cuando se realiza mediante lectura directa, se utiliza el valor de Brix% para la determinación de la Pol% jugo como indicador de la densidad de la solución, a fin de conocer la

3: **Brix:** Contenido de sólidos disueltos en 100 gramos de solución.

4: **Pol:** valor del contenido aparente de sacarosa en una muestra.

5: **Brixómetro:** areómetro (densímetro) de peso constante cuya escala convierte el cambio volumétrico de la muestra en grados Brix.

6: **Grado sacarimétrico:** es el valor que resulta de dividir linealmente una escala construida entre la lectura a 546.23 nm de la rotación del plano de luz polarizada del agua (0 °S) y la de una solución de sacarosa pura de 26 gramos en 100 ml (100 °S), ambas contenidas en un tubo de 200 mm de longitud.



Figura 2: Determinación en laboratorio del Pol% jugo.

concentración de azúcar en la misma.

La utilización de equipos digitales con salidas de resultados, permite automatizar las determinaciones excluyéndolas de los errores operativos asociados.

*En este método la Pol% caña se calcula indirectamente a partir de la Pol% jugo utilizando el denominado Factor Java, realizando así una estimación teórica del contenido de fibra de la caña que le quita precisión a la determinación de la Pol% caña y constituye la principal desventaja del sistema.*

El sistema indirecto debe complementarse con una determinación física de la materia extraña (Trash), que acompaña a la muestra.

#### **Determinación de la materia extraña (Trash %)**

Antes del ingreso de la caña al proceso de molienda, se extrae una muestra para determinar el contenido de materias extrañas o trash que acompaña a los tallos maduros. El procedimiento consiste en pesar la muestra y luego separar en forma manual el tallo molible de todo aquel material que acompañe a la caña (hojas verdes y secas, despunte, porciones inmaduras del tallo, tierra, malezas, raíces, tallos deteriorados, etc.).

Cabe aclarar que se considera tallo inmaduro, a toda aquella porción del tallo que tiene una cantidad de azúcar que no justifica la molienda. Para determinar la inmadurez del tallo se fija como nivel mínimo de calidad 12 o 13% Brix. Todo entrenudo que tenga un nivel de Brix% inferior no es materia prima y por lo tanto debe formar parte del trash.

Los tallos molibles que se recuperan de la muestra son pesados y la diferencia de peso respecto al total de la muestra indica la can-

tidad de materia extraña o trash presente. La referencia de esta diferencia a 100 kg de muestra, indica el valor de Trash%.

#### **Cálculo del Azúcar Recuperado**

Los valores determinados de Brix% y Pol% en jugo son los indicadores a utilizar para el cálculo de las siguientes variables:

$$\text{Pureza\%} = \text{Pol\% jugo} \times 100 / \text{Brix\% jugo}$$

$$\text{Pol\% Caña} = \text{Pol\% jugo} \times \text{Factor de Java (Fj)}$$

$$\text{Azúcar Recuperado} = \text{Pol\% caña} \times \text{RW} \times \text{ES} \times \text{EI} \times 1/\text{Pol Azúcar}$$

Donde:

RW = Recuperación Teórica Winter.

ES = Extracción de Sacarosa.

EI = Eficiencia Industrial.

Como ya se ha mencionado, la incidencia del trash y el deterioro de la caña atentan contra la exactitud del sistema indirecto de evaluación de calidad en caña, lo que se traduce en diferencias significativas entre el azúcar ingresado a proceso y el determinado individualmente a cada productor. Para subsanar estos desfases se emplean actualmente diferentes criterios de ajuste, tanto sobre el valor del Factor Java (tomando valores diferentes en función de la época de cosecha), como correcciones de algunos de los parámetros de la ecuación de Azúcar Recuperado. Un ejemplo es la introducción de un factor que modifica el valor medido de Pureza del Jugo de Primera Presión, para ser utilizado en la Recuperación Teórica de Winter, ya que la fórmula requiere como dato la pureza del Jugo Mixto<sup>7</sup> realmente extraído.

Es factible también encontrar, en algunos casos, la utilización de relaciones matemáticas entre el contenido de fibra industrial y la extracción de sacarosa y además modificaciones que ajustan la eficiencia industrial para cada intervalo de tiempo convenido, asociados al cambio de calidad por el estado madurativo de la caña de azúcar durante el período de molienda.

Estas modificaciones, como así también, la

7: **Jugo Mixto:** Es la mezcla de los jugos extraídos en el tandem de molienda y el que se envía al proceso de producción

participación de cada sector sobre el azúcar recuperado, deben ser acordadas entre los sectores involucrados.

### MÉTODO DIRECTO

*La característica principal de este método reside en que evalúa la calidad fabril en una muestra de caña tomada antes de la molienda.*

*El hecho de que se determine el porcentaje de fibra de la caña, entendiéndose a la misma como todo material insoluble en agua (fibra + trash), lo señala como un método de evaluación más confiable cuando la caña es cosechada usando sistemas semi mecanizados y/o mecanizados que incorporan una mayor cantidad de materia extraña.*

La muestra se toma directamente del transporte, lo que asegura su individualidad. Además, otra ventaja es que permite liberar los equipos de tracción una vez realizado el muestreo.

Se puede señalar como desventaja que, debido al reducido tamaño de la muestra sobre la cual se realizan los análisis, tiene una menor representatividad que la muestra del sistema indirecto. Sin embargo, el número de muestreos mejora sustancialmente esta limitante, por lo que para productores medianos y grandes que envían a molienda varios equipos/día durante la zafra, los errores se compensan al final de la campaña.

### Toma y preparación de la muestra

La muestra de caña a analizar se extrae mediante una sonda. La que alcanzó mayor difusión en la industria cañera es el muestreador conocido como *Core Sampler* (Figuras 3 y 4).

Esta sonda penetra en el cargamento de materia prima en forma horizontal u oblicua (generalmente 45°). En función del diámetro de la sonda se extraen muestras de 12 kg (sonda de 20,3 cm de diámetro) o 6 kg (sonda de 15,2 cm).

La muestra extraída es desfibrada y luego se separa una submuestra de 1 kg para realizar la extracción del jugo por prensado.

El equipo desfibrador empleado es de martillos, capaz de asegurar valores superiores al 90% de células abiertas, lo que permite una elevada extracción en prensa (Figuras 5 y 6).

El prensado se efectúa sobre la submuestra previamente homogeneizada y se obtienen dos productos: el jugo donde se efectuarán las determinaciones de Brix% y Pol% jugo, y un residuo fibroso que se utilizará para la determinación de Fibra% caña (Figura 7)



Figura 3: Vista general del Core Sampler.



Figura 4: Toma de muestra con el Core Sampler.



Figura 5: Equipo desfibrador.



Figura 6: Muestra después de pasar por el desfibrador.



Figura 7: Prensa hidráulica

### Determinaciones analíticas

Las determinaciones básicas que requiere el Sistema de Análisis Directo son: Brix% y Pol% en jugo y Fibra% caña.

Las determinaciones en jugo pueden realizarse según las metodologías explicadas para el análisis indirecto. Sin embargo, la posibilidad del sistema de muestreo por sonda de ser totalmente automatizado hace que, en general, estos sistemas estén más asociados al uso de instrumentos digitales en los laboratorios. Esta combinación de muestreo y determinaciones analíticas automáticas, si bien requieren de inversiones iniciales mayores, evita errores operativos y disminuye los costos por mano de obra, otorgándole al sistema mayor transparencia.

La determinación de fibra en caña, en general,

se realiza mediante el uso de ecuaciones de regresión entre el peso del residuo fibroso obtenido en la operación de prensado y el valor de fibra% presente en la muestra. Estas ecuaciones muestran un buen grado de correlación cuando el material inorgánico que acompaña a la materia prima es relativamente bajo. Cuando se requiere mayor precisión se utilizan además, las determinaciones de humedad en el residuo fibroso, y en algunos casos, la determinación de material insoluble por lavados sucesivos.

### Cálculo del Azúcar Recuperado:

Desde su implementación hasta nuestros días, el sistema de análisis directo fue objeto de modificaciones, con el fin de poder predecir cada vez con mayor exactitud, el azúcar posible de recuperar.

Con los valores obtenidos de Pol% jugo, Fibra% y Pureza, se calcula el azúcar Recuperado empleando diferentes fórmulas que deben ser consensuadas según las características de cada región y sistema productivo.

*El método directo de control de calidad puede y debe mejorarse en función de las características regionales, dando al conjunto agroindustrial precisiones con respecto al verdadero potencial cualitativo de la materia prima, e identificando los problemas que requieren optimización.*

### CALIDAD DE CAÑA PARA LA ELABORACION SIMULTÁNEA DE DIFERENTES PRODUCTOS COMERCIALES.

Cuando el único producto final de valor comercial es el azúcar, los métodos directos o indirectos para determinar el azúcar recuperable, cumplen con el objetivo con diferentes grados de error.

Sin embargo, cuando el objetivo de producción cambia, como es el caso de aumentar la producción de etanol a expensas del azúcar, debe contemplarse otro sistema de evaluación de calidad de la materia prima, en función del potencial para elaborar ambos productos.

Un ejemplo actual de este tipo de modificación es el sistema de valoración de calidad de caña que se utiliza en Brasil, donde se determinan las concentraciones en Azúcares Fermentecibles Totales, por ser la base de los hidratos de carbono a partir de los cuales se realiza la elaboración dual de azúcar y etanol.

En el contexto de la crisis energética mundial

del petróleo, cultivos energéticos como la caña de azúcar muestran un potencial interesante para la generación de energía eléctrica a partir de la fibra. En la actualidad existen fábricas azucareras que han desarrollado sistemas industriales de producción de azúcar, alcohol y energía eléctrica como productos finales del proceso, emprendimientos estos que requerirán reajustes en los sistemas de valoración que midan apropiadamente la calidad de la materia prima para este tipo de producción simultánea.

La adecuada valoración de la materia prima, es la clave de optimización del proceso agroindustrial, ya que cuando se realiza en forma correcta permite identificar las pérdidas reales y abrir el camino para optimizar los procesos y mejorar la rentabilidad.

### NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICABLES

En países como Estados Unidos, Colombia, Australia y Sud África se ha incorporado el uso de comparadores analíticos para determinaciones de calidad y madurez de caña. Este nuevo equipamiento conocido como NIR, (por sus siglas en inglés de Espectroscopia de Infrarrojo Cercano), permite, mediante comparaciones del espectro generado con una base de datos previamente confeccionada, entregar resultados analíticos diversos en tiempos muy cortos.

En esencia, estos equipos utilizan ecuaciones de regresión entre el espectro generado y los valores encontrados por métodos primarios de análisis. La cantidad de datos y la calidad de los métodos primarios utilizados para la calibración, definen el error de comparación que puede lograrse.

Existen comercialmente equipos NIR para determinaciones en muestras líquidas y sólidas con detectores diferenciales para el producto a analizarse. En el caso de líquidos se utilizan los de transmitancia y en el caso de sólidos los de reflectancia (Figura 8).

Las etapas básicas de la técnica NIR son:

- **Adquisición de datos:** Lograr los espectros de las muestras.
- **Calibración:** Agregado de los resultados de los análisis logrados por los métodos primarios.
- **Validación:** Análisis estadísticos que permitan lograr las correlaciones entre los espectros y los resultados de los métodos primarios.

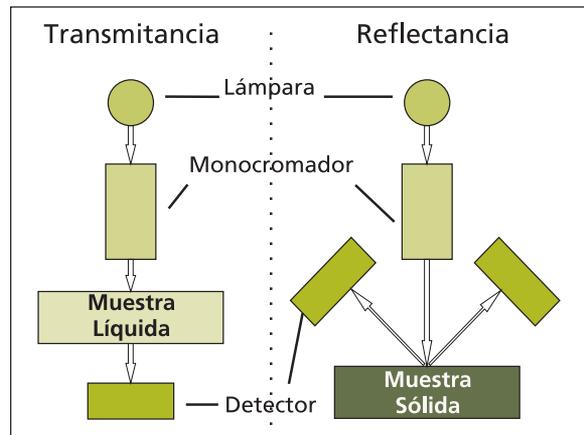


Figura 8: Esquema de equipos de infrarrojo cercano para muestras líquidas y sólidas.

- **Aplicación:** Análisis rutinarios.

Entre las ventajas de esta tecnología se puede mencionar:

- Tiempos mínimos para el análisis (menos de 1 minuto).
- Es una técnica no destructiva.
- Fácil preparación de la muestra.
- No requiere de reactivos químicos favoreciendo el cuidado del medio ambiente.
- El manejo del equipamiento es sencillo.
- Pueden determinarse simultáneamente varios constituyentes.

Entre las desventajas se pueden mencionar:

- Es una técnica secundaria (comparador), por lo que requiere de buenos análisis primarios en la etapa de calibración.
- Los procedimientos de calibración y validación demandan mucho tiempo.
- Por ser un comparador, los errores siempre serán mayores que los de los métodos primarios utilizados para generar la base de datos de comparación.

Por último, se deben considerar los mecanismos para asegurar la calidad y/o la aplicación de normas internacionales para gerenciar este tipo de actividad, ya que estos sistemas tienen como objetivo establecer las metodologías y procedimientos que se aplicarán y el control de los mismos, para asegurar la homogeneidad del sistema, brindando transparencia y conocimiento cierto de lo realizado.

Este avance permitirá generar un estado de mayor confiabilidad, que es importante para estimular condiciones de trabajo de mayor productividad en la agroindustria.