

IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA

Tonatto, J.; Romero, E. R.; Leggio Neme, M. F.; Scandaliaris, J.; Alonso, J.; Digonzelli, P.; Alonso, L. y Casen, S.

Introducción

En los últimos años, Tucumán ha incorporado innovaciones tecnológicas que permitieron incrementar significativamente el rendimiento cultural de los cañaverales, reducir los costos de producción y mejorar algunos aspectos de la calidad fabril. Sin embargo, los niveles de recuperación de azúcar son aun relativamente bajos y pueden ser incrementados sustancialmente.

La mejora de la calidad de la materia prima constituye una herramienta efectiva para concretar incrementos en la productividad de la agroindustria azucarera, por lo cual debería constituir un objetivo prioritario y un compromiso de todos los sectores involucrados en esta actividad.

Con este objetivo, mejorar la calidad de la materia prima en el campo, como la eficiencia del proceso fabril juegan un rol decisivo. La primera es importante ya que determina el máximo contenido de azúcar factible de recuperar, incide en la calidad del azúcar y contribuye a reducir los costos. La segunda porque un proceso eficiente, asegura la máxima recuperación industrial del azúcar formado en el campo, se reducen los costos y mejora la calidad del producto final.

El propósito de este artículo es analizar los distintos factores que afectan la **calidad de la materia prima** y proponer distintas estrategias que posibiliten incrementar los niveles actuales de recuperación de azúcar.

La calidad de la materia prima

La calidad de la materia prima se reconoce al término de su procesamiento industrial por la cantidad de azúcar que se recupere por tonelada de caña molida (rendimiento fabril).

Una materia prima de óptima calidad será aquella que se caracteriza por un alto contenido de sacarosa, un bajo contenido de materias extrañas, un bajo contenido de sustancias solubles no-sacarosa y por un nivel adecuado de fibra, asegurando un máximo rendimiento fabril y la mejor calidad del azúcar obtenida, resultando en una mejor eficiencia y rentabilidad, tanto de la fábrica como del productor cañero.

La calidad de la materia prima constituye la base del proceso industrial, al determinar la máxima cantidad de azúcar que la fábrica puede recuperar, según la eficiencia fabril de cada ingenio (Figura 1). El logro de un proceso fabril eficiente asegurará recuperar la mayor cantidad del azúcar formada en el campo.

El conocimiento de los múltiples factores que inciden en la calidad, posibilitarán instrumentar manejos y sistemas de control en la producción, cosecha, transporte y en la etapa industrial, que permitan mejorar la calidad de la materia prima y las condiciones de fabricación y de calidad del producto.

La transparencia, racionalidad y coordinación efectiva de la relación CAÑERO-FABRICA juega un papel fundamental en la mejora del proceso global. Además se deben destacar que la incorporación de mejoras en el sector agrícola e industrial benefician a toda la actividad, como también a sus distintos participantes.

Lo expuesto enfatiza el hecho de que el procesamiento de la caña de azúcar empieza realmente en el campo. La variedad de caña, el suelo en el cual se cultiva, las prácticas de manejo (riego, fertilización, control de malezas, etc.), la madurez del cañaveral al momento de la cosecha y la eficiencia de esta última, determinan la calidad del material producido.

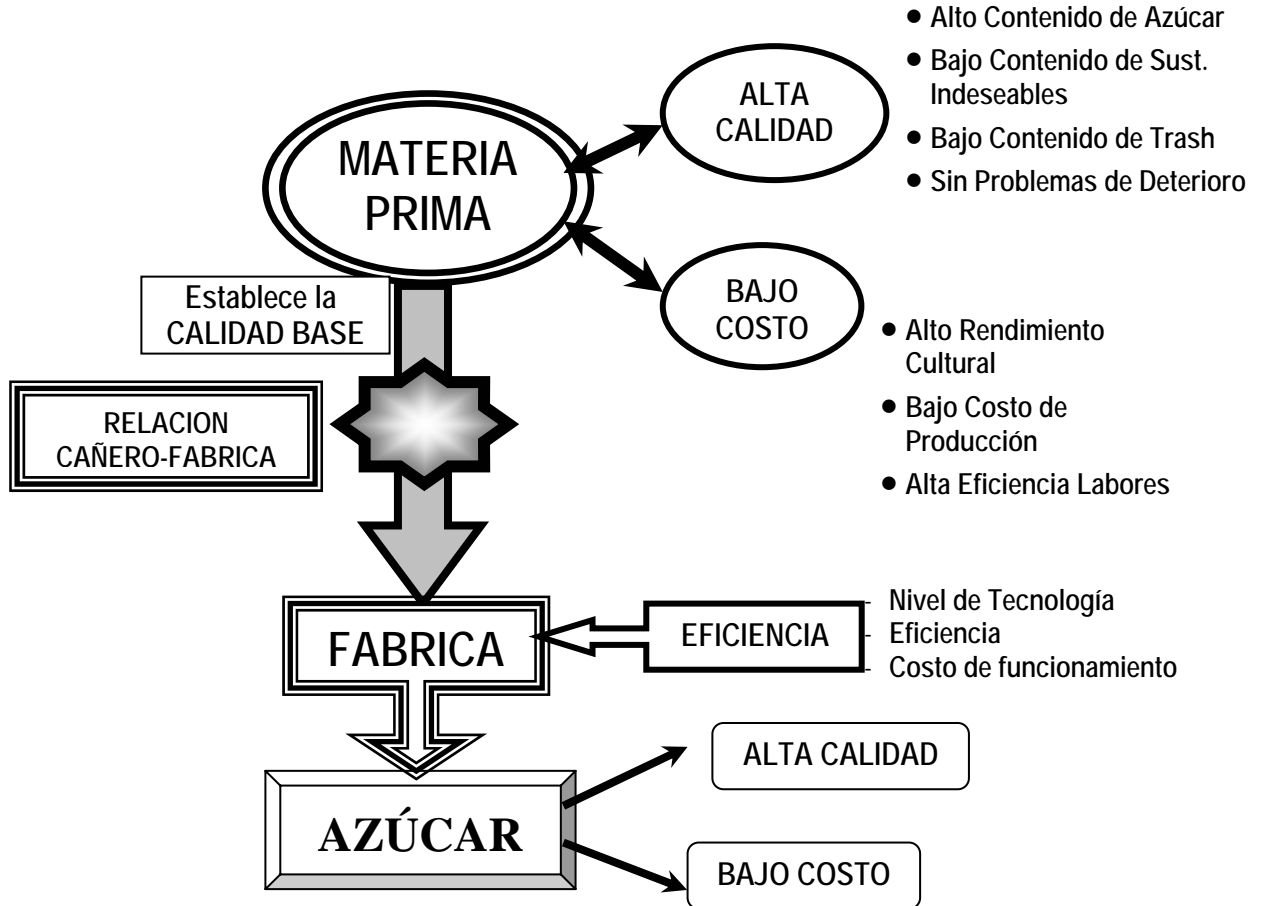


Figura 1: Esquema conceptual de las exigencias actuales de calidad de la Materia Prima y del azúcar.

Es muy importante entender que el resultado final del proceso agroindustrial azucarero, expresado como rendimiento y calidad del producto obtenido, depende no sólo del azúcar acumulado en la caña durante su crecimiento, sino también por la calidad de la materia prima que se entrega y muele, considerando de manera especial la cantidad de las sustancias no-azúcares que la acompañan al momento de su molienda.

Composición Química de la Caña de Azúcar y su Relación con el Proceso Industrial

La caña de azúcar está constituida por jugo y fibra. La fibra es la parte insoluble en agua y está formada principalmente por celulosa. El jugo está compuesto por agua y sólidos solubles en agua (sacarosa y otros constituyentes) cuyo contenido se expresa comúnmente como el "Brix" (expresado en porcentaje del jugo). El contenido de sacarosa (azúcar comercial), expresado como un porcentaje del jugo y determinado mediante un método polarimétrico, se denomina "Pol". La razón porcentual entre el Pol y el Brix del jugo se conoce como "Pureza".

En el jugo existen otros constituyentes solubles orgánicos e inorgánicos, como ácidos orgánicos, minerales, azúcares reductores, oligosacáridos, polisacáridos, colorantes, proteínas y otros, diferentes de la sacarosa, que se denominan usualmente "No-pol" o "No-sacarosa", los cuales resultan de la diferencia entre el Brix y el Pol.

En la figura 2, se resume la composición química típica de un tallo molible (apto para molienda) y de un tallo inmaduro o de sus porciones no molibles.

La calidad de los jugos afecta el procesamiento de la caña y la recuperación de la sacarosa en los ingenios. La cantidad de sustancias “no-sacarosa” o indeseables, que aumentan por falta de maduración de la caña o que son generadas por condiciones de deterioro (quema, estacionamiento, heladas, etc.), afectan en distintas etapas el proceso fabril, destacándose su efecto negativo en la cristalización, alterando la forma (Figura 3) y el color del azúcar.

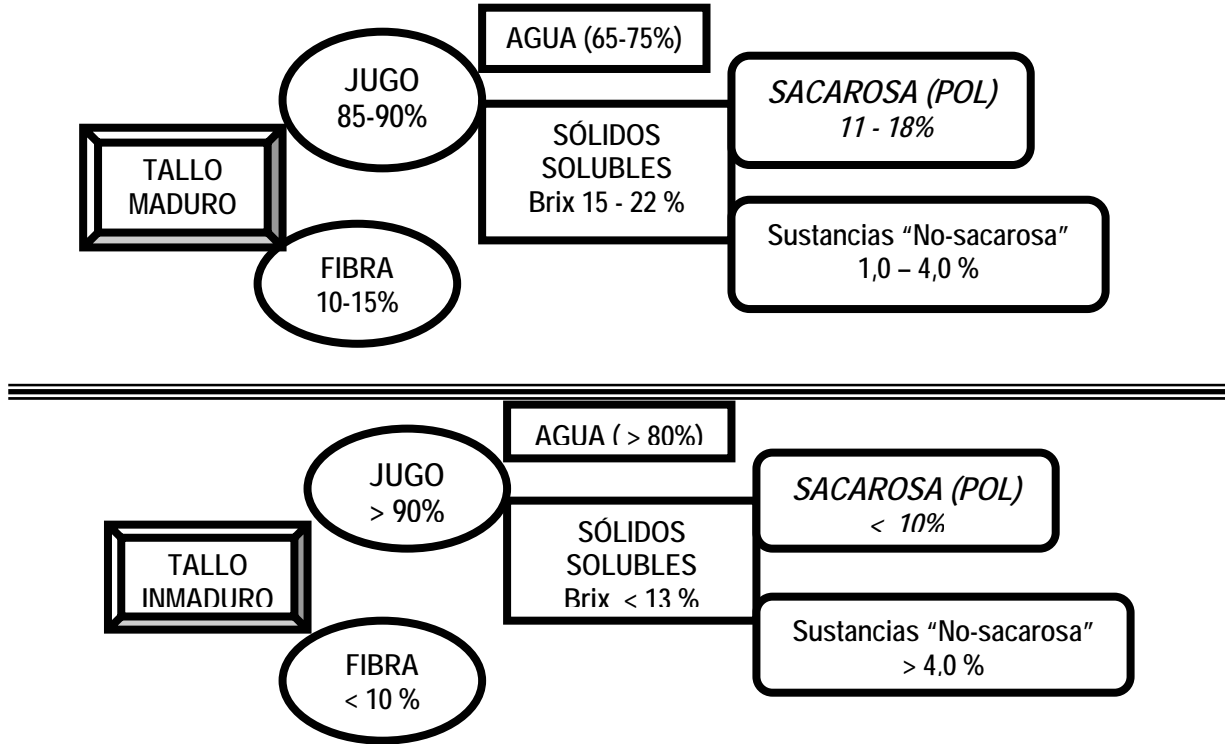


Figura 2: Composición química típica de un tallo molible (maduro) y de un tallo inmaduro o de secciones o porciones inmaduras (despunte).

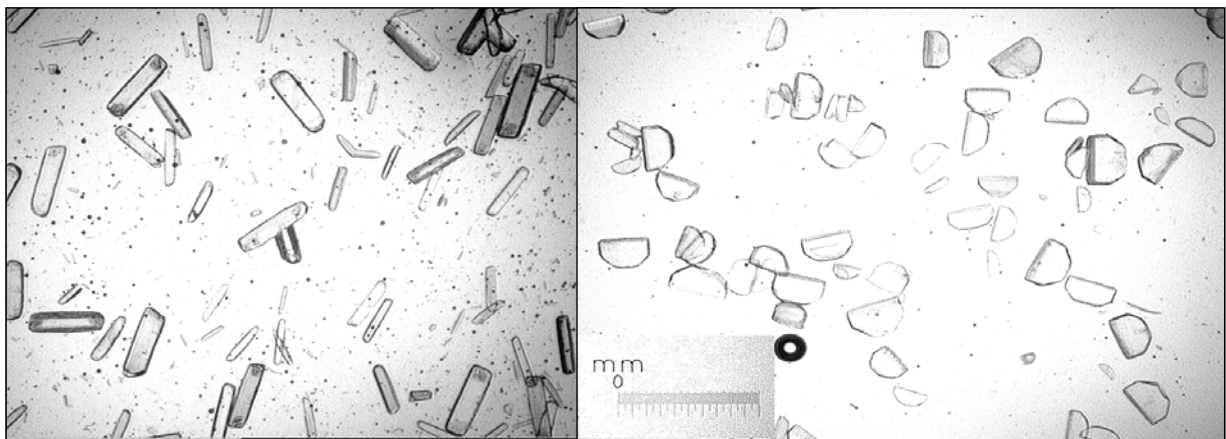


Figura 3: Deformación de los cristales de azúcar debido a problemas de calidad de la caña de azúcar.

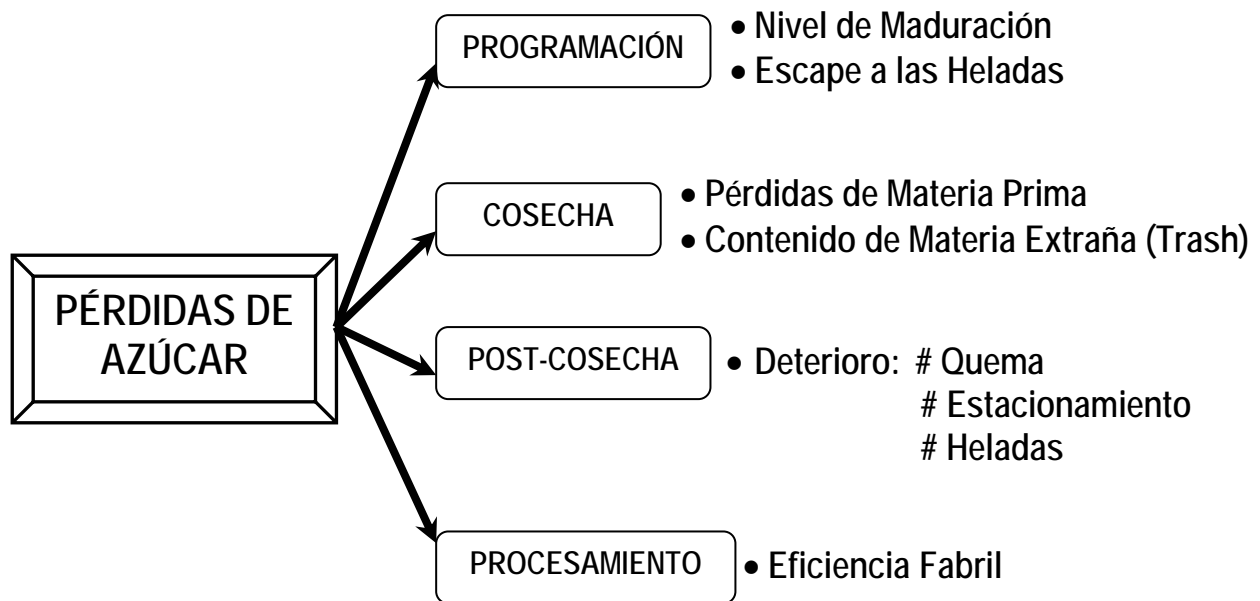
FACTORES QUE AFECTAN LA RECUPERACIÓN DEL AZÚCAR

Durante la zafra se registran significativas pérdidas de azúcar, originadas por problemas en la organización, coordinación y control de los distintos procesos involucrados en la cosecha, transporte y recepción de la caña de azúcar en el ingenio.

Disminuir estas pérdidas debe ser un objetivo fundamental para lograr la máxima recuperación del azúcar formada en el campo, reduciendo los costos y mejorando la eficiencia global del proceso.

Importantes avances en la recuperación de azúcar y en la reducción de costos se puede lograr con el solo ajuste y corrección de las ineficiencias detectables en cada situación particular durante la recolección, carga, transporte y recepción de la caña de azúcar, a través de una mejor organización, coordinación y control de las distintas operaciones involucradas, que permitan asegurar el máximo aprovechamiento del azúcar formada en el campo.

En la zafra se suelen observar importantes ineficiencias en el manejo de los principales factores que inducen pérdidas de azúcar, los cuales son analizados a continuación:



1- Programación de la Cosecha

El volumen de la materia prima disponible en cada explotación esta prácticamente definido al inicio de zafra (mayo), en cambio el contenido de azúcar tiene una evolución particular, la que es variable en cada lote en función de las condiciones agroecológicas, la variedad implantada, la edad del cañaveral, el manejo cultural, estado de crecimiento, etc. La falta de un control adecuado de la calidad de la materia prima disponible en el campo y de una programación acorde a la misma, puede ser la causa de las primeras pérdidas de azúcar en que se incurre durante la cosecha y transporte, posiblemente asociado a que las mismas son poco evidentes para el productor y la actividad general.

2.- Durante la Cosecha

a.- Pérdidas de materia prima

Un cañaveral puede ver disminuida sensiblemente su producción después de la cosecha debido a las siguientes causas:

- Un despuntado demasiado bajo, dejando en el campo entrenudos aptos para la molienda.
- Un corte basal alto, quedando porciones de tallos maduros adheridos a la cepa.
- El escape y/o pisoteo por las máquinas, de tallos enteros o trozos de caña.
- La pérdida de caña durante la tarea de carga, especialmente en la cosecha integral.

La incidencia de estas pérdidas en la cosecha pueden ser significativas, superando con frecuencia el 2,0 - 2,5%, nivel máximo para una cosecha eficiente, variando entre sistemas de cosecha, pero dependiendo en gran medida de problemas en la preparación y uniformidad de los lotes, del mantenimiento, regulación y operación de los equipos, entre otros, lo que manifiesta la importancia de efectuar frecuentemente tareas de control.

En el caso de la cosecha integral, el tipo de pérdidas pueden ser de dos tipos:

- **Pérdidas visibles:** asociada a entrenudos maduros en despunte, tocones, trozos molibles y tallos enteros, que se agrega a la caña perdida en los trasbordos.
- **Pérdidas invisibles:** asociada a pérdidas de materia prima que no resulta fácil evaluar, tales como trozos muy dañados, finamente picados, pérdidas de jugo por rajaduras en tallos y/o pisoteo de las máquinas.

En la cosecha integral, a fin de optimizar su eficiencia, será conveniente considerar algunos aspectos relacionados con el estado del cañaveral y con la calidad de las operaciones de las distintas funciones de la cosechadora a fin de minimizar las pérdidas de materia prima. Deberá prestarse particular atención a la altura de corte y a su vez, al estado de las cuchillas de corte basal, de las cuchillas troceadoras, a la altura del despuntado y al estado del despuntador, el estado de las paletas y la velocidad del extractor 1º y 2º. Para evitar mayores pérdidas de materia prima, daños en los surcos y cepas, no deberá sobrepasarse los **5 - 6 km / hora** como velocidad de avance de la cosechadora.

Otro factor a tener en cuenta es el **estado** del cañaveral, particularmente cuando se trata de **caña caída**, influyendo en diversos aspectos:

- demoras en la maduración por una reactivación del crecimiento
- mayores dificultades operativas para la cosecha
- tendencia a mayores pérdidas de materia prima y elevados contenidos de trash
- mayor afección por heladas

El tránsito excesivo de los equipos de cosecha dentro de los lotes, produce un impacto negativo que se manifiesta a través de:

- Compactación del suelo y formación de una capa endurecida.
- Problemas de humedad en el suelo debido a menor capacidad de infiltración.
- Pisoteo de surcos, daño en cepas, demoras en brotación y fallas.
- Menor vida útil del cañaveral.
- Desorden en el tránsito y accidentes.

A fin de minimizar estos problemas, deberá organizarse la cosecha teniendo en cuenta el estado de cada lote, donde comenzar y como continuar la cosecha, ordenar el movimiento de las distintas máquinas, donde se cargarán los camiones y realizar las maniobras de la manera más cuidadosa posible a fin de minimizar los daños.

b.- Contenido de Materias Extrañas (Trash)

Uno de los principales factores causales de pérdidas de azúcar son las “materias extrañas” (comúnmente llamado “trash”) que acompañan a la caña cosechada. Se entiende por “materia extraña” o trash al contenido de **todo material no molible** (vegetal o mineral) que acompaña a los tallos maduros, aptos para la molienda.

Contenidos crecientes de materia extraña en la caña cosechada, provocan una importante disminución de la calidad en la materia prima, asociado a una reducción en la pureza de los jugos, un aumento de los azúcares reductores, oligo y polisacáridos y un

incremento del contenido de fibra, lo que genera una reducción en la capacidad de extracción y la reducción del Pol % caña, entre otros. Hay que considerar también, que se incrementan los costos de la carga y del transporte (carga y flete falso), se reduce la capacidad de transporte y de molienda del ingenio y se alarga la duración de la zafra.

Como se observa en el cuadro 1, la tierra es un componente muy importante del trash por la magnitud de los efectos negativos que genera durante el proceso de fabricación, destacándose pérdidas de azúcar mayores al 1% por punto de incremento del contenido de tierra. Además, disminuye el poder calorífico del bagazo, se producen mayores desgastes en trapiche, calderas y bombas y un mayor consumo de productos químicos, entre otros.

Cuadro 1: pérdidas de azúcar originadas por los distintos componentes del trash.

Componentes del Trash	Pérdidas de Azúcar por cada 1% de Trash
Tierra	+ 1%
Despunte (tallo inmaduro y hojas jóvenes)	0,80%
Hojas secas	0,60%
Hojas verdes	0,30%

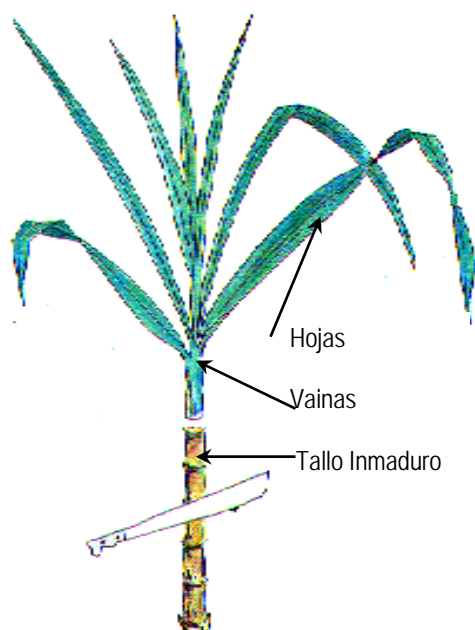
Este componente mineral del trash que se incorpora durante la operación de cosecha, puede alcanzar porcentajes variables entre 0,3 y 5,0% según el sistema de cosecha, alcanzando los valores más altos cuando se emplea la cargadora hidráulica, aunque su contenido también depende de otros factores, especialmente del tipo de suelo, de las lluvias y de la pericia del operador.

Para disminuir la influencia negativa de la tierra se deben tomar distintas medidas, especialmente durante la operación de la cosecha y la carga, tratando de realizar labores eficientes y esmeradas.

Otro componente importante de la “materia extraña” es el despunte, el cual provoca pérdidas de azúcar sustanciales (figura) en el proceso industrial, además de los efectos en la cosecha, transporte y capacidad de molienda, citados previamente.

Cada uno de los constituyentes del despunte aportan sustancias indeseables o no-sacarosa que afectan el proceso fabril y la calidad final del azúcar obtenida en el ingenio. Las **hojas y vainas** se caracterizan por un elevado contenido de fibra, de almidón y de humedad. Los **entrenudos inmaduros**, además de tener un bajo contenido de sacarosa, se caracterizan por un alto contenido de humedad, de azúcares reductores, oligosacáridos y cenizas.

Una comparación de las diferencias observables en el grado de madurez de un tallo según sus canutos, se presenta en el cuadro 2.



Esta información demuestra la gran importancia que adquiere en cada caso, el control global de la calidad y la incidencia significativa de un adecuado ajuste de la altura de despuntado, al eliminar las porciones inmaduras, que no solamente tienen un bajo contenido de sacarosa, sino que además presentan elevados contenidos de sustancias no-sacarosa, que dificultan y encarecen el proceso de fabricación y son causas de pérdidas de azúcar.

Desde el punto de vista operativo, la altura de despuntado estará dada por lecturas de **Brix mayores al 12 – 13%**, ya que valor este representa el umbral económico para la recuperación rentable de sacarosa en fábrica. Asimismo se observa que la eliminación de 2-3 canutos con Brix < 13%, no significa más de un 4 - 5% de pérdida de peso por tallo, lo que se compensa por la ganancia en calidad fabril. Además, para definir la altura del despuntado deberán tenerse en cuenta la uniformidad del lote a cosechar, si se trata de caña caída o erecta y si es que se sufrieron heladas y su severidad.

Cabe destacar que la conveniencia del uso de **maduradores químicos** dentro del manejo del cañaveral, ya que permitirá el llenado temprano de los entrenudos apicales, incrementando la proporción de tallos molibles y disminuyendo el trash (figura 4).

Cuadro 2: Variación de distintos indicadores de calidad según porciones del tallo. TUC 77-42, fines de mayo.

ENTRENUDOS	PESO (%)	BRUX %	POL % Jugo	Azuc. Red.	PUREZA %	Rdto Fabril
1 (apical)	1,5	6,7	0,70	2,3	11,3	----
2	2,0	10,1	5,4	1,7	53,47	2,2
3	3,1	12,0	6,8	1,1	56,38	3,0
4	4,1	13,5	9,0	0,7	66,9	4,7
5	6,0	14,3	10,7	0,56	74,65	6,0
6,7,8	16,0	20,1	17,9	0,22	88,79	11,0
9,10,11	17,7	21,0	19,6	0,13	93,05	12,2
12,13,14 (basales)	19,4	20,6	20,2	0,12	98,25	13,0
RESTO (basales)	30,2	21,5	20,4	0,18	93,21	12,6

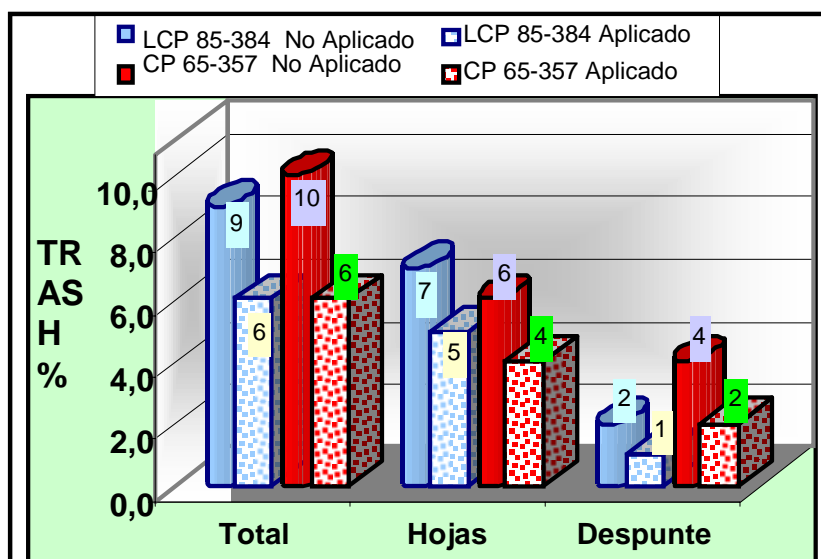


Figura 4: Efecto de la aplicación de un madurador en la disminución del trash de dos variedades de caña. Cosecha integral en verde.

3.- Período post-cosecha - Factores causales de Deterioro

Desde el punto de vista agronómico, existen pérdidas de azúcar asociadas al deterioro y a la pérdida de calidad de la materia prima que pueden alcanzar magnitudes importantes.

A- Estacionamiento

Las pérdidas asociadas al estacionamiento al que se somete a la caña de azúcar tanto en el campo, durante el transporte y/o en el canchón, se manifiestan a través de los siguientes procesos:

- disminución del peso de tallos por deshidratación.
- disminución en el rendimiento fabril (menor calidad).
- pérdidas de azúcar por tonelada de caña.

La magnitud de estas pérdidas esta fuertemente influenciada por la temperatura ambiente que acelera los procesos degradativos (figura 5).

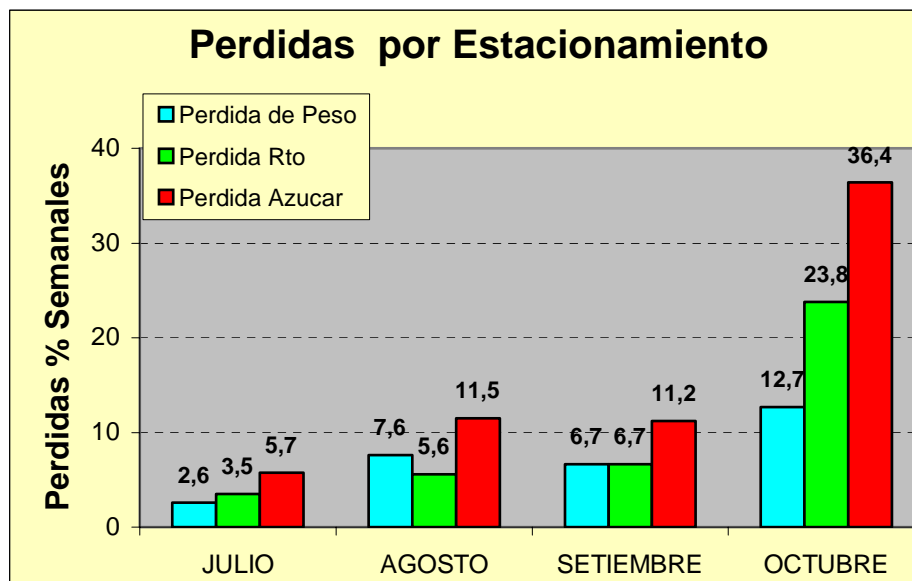
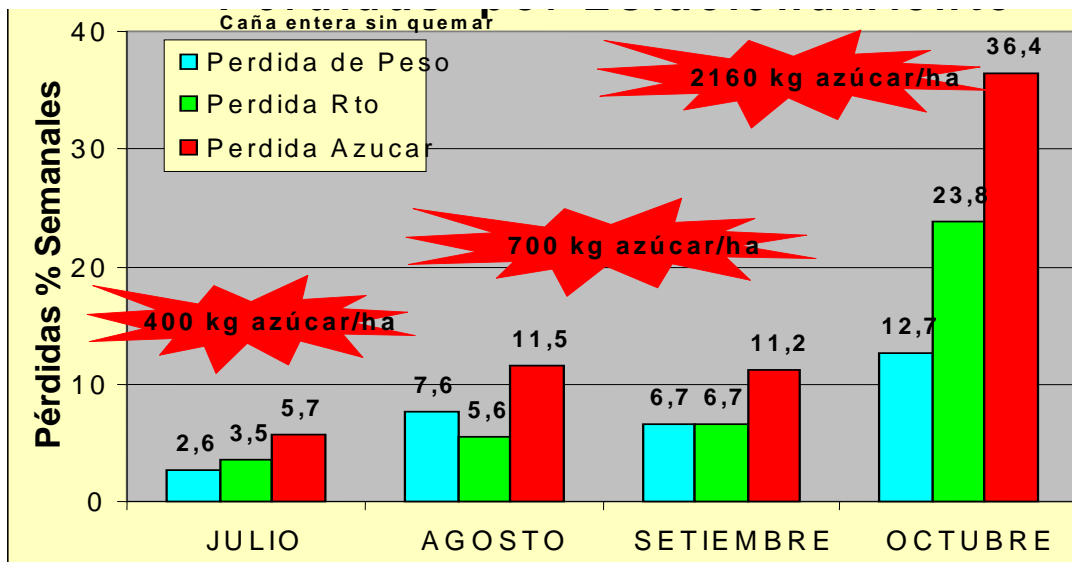


Figura 5: Pérdidas de peso, de rendimiento fabril y de azúcar (caña entera sin quemar) para una semana de estacionamiento en distintas épocas de zafra.

B- Quema

La quema de la caña de azúcar es una práctica que se utiliza desde hace muchos años, para eliminar el follaje durante la cosecha y disminuir los niveles de trash tanto en pie como después de ser cortada, que aumenta la eficiencia de la labor y reduce los costos.

Sin embargo, esta práctica trae aparejada severas desventajas de distinta naturaleza, siendo responsable de significativas pérdidas de azúcar cuando se asocia a caña helada o a caña estacionada, como se observa en la figura 6, intensificando el deterioro de la materia prima

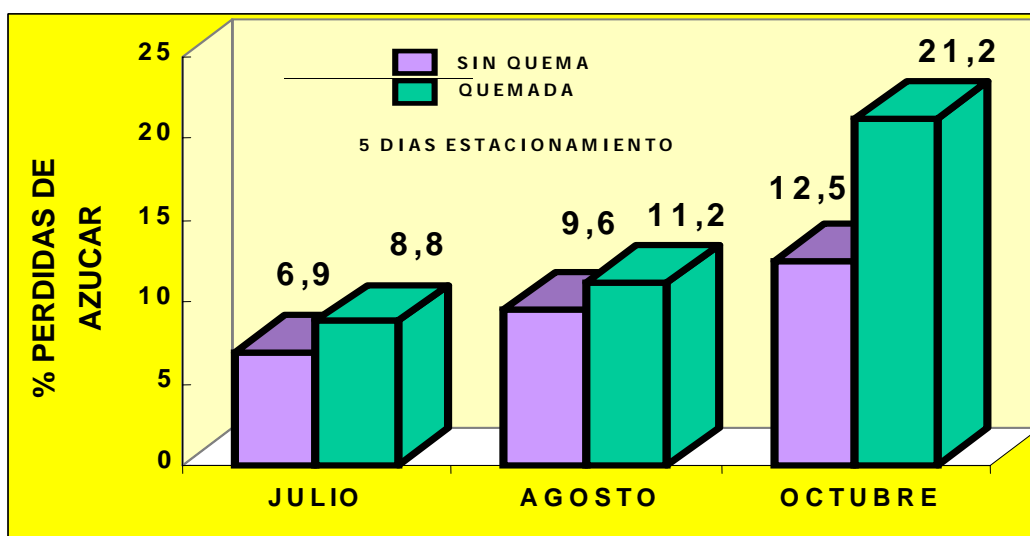


Figura 6: Pérdidas % de azúcar en caña quemada y sin quemar para 5 días de estacionamiento en distintas épocas.

Además, origina perjuicios al medio ambiente, a la salud de la comunidad y puede originar accidentes. Por tales razones, la reducción progresiva del uso del fuego en los cañaverales deberá efectuarse en los próximos años, en el marco de la ley recientemente reglamentada.

C- Heladas

En Tucumán se pierde una cantidad considerable de azúcar como consecuencia de los efectos provocados por las heladas, pero también por las dificultades para poner en práctica estrategias preventivas de manejo (elección de variedades, diseños de plantación, manejo cultural, etc.), y de manera especial un reordenamiento rápido y eficiente de la cosecha que posibilite reducir los perjuicios sobre la producción de azúcar.

Los efectos de la ocurrencia de heladas dependen de su intensidad (registro de temperatura bajo cero) y *duración* (horas acumuladas), pero las temperaturas de los días posteriores a las heladas, como la ocurrencia de precipitaciones, influyen significativamente en la velocidad del deterioro que se registra en la calidad de la materia prima afectada.

Como se muestra en la figura 7, con la ocurrencia de heladas se detiene la maduración del cañaveral y se inicia un proceso de deterioro, de distinta intensidad según la severidad de las heladas. Es importante resaltar que las pérdidas de rendimiento fabril se intensifican a partir de mediados-fines de agosto, época en la que aumenta la temperatura y las lluvias, debiéndose cosechar los cañaverales afectados antes de dicho momento, a fin de minimizar las pérdidas de azúcar.

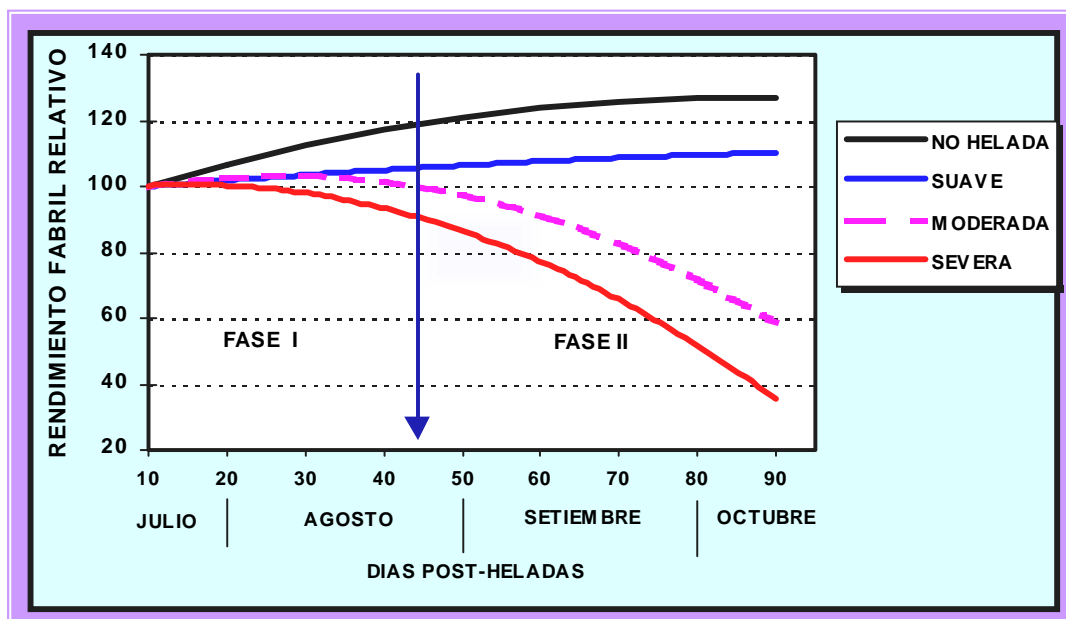


Figura 7: Evolución del Rendimiento fabril relativo al momento de la ocurrencia de heladas, según el tipo de helada.

El productor dispone de dos estrategias básicas para minimizar los efectos negativos de las heladas: el manejo de la plantación y del cultivo como herramientas de prevención y la segunda, asociada al reordenamiento de la cosecha.

Una vez acontecidas las heladas se debería evaluar los niveles de daño en cada lote y proceder a reprogramar el ordenamiento de la cosecha con la premisa fundamental de limitar al máximo las pérdidas de azúcar. Asimismo, como el deterioro de los tallos afectados se manifiesta más intensamente en los entrenudos superiores y avanza progresivamente hacia los basales, el productor deberá modificar la altura del despuntado a fin de eliminar las porciones superiores más deterioradas.

Control de la Cosecha

Es importante recordar que será muy difícil lograr mejoras sustanciales en la calidad de la materia prima y de la eficiencia de la cosecha, si no se realizan adecuados y frecuentes controles de calidad.

Estimación de la Pérdidas de Materia Prima (P.M.P.)

A fin de efectuar el seguimiento continuo del nivel de pérdidas de materia prima durante la cosecha, se propone la siguiente metodología:

1. Marcar en diagonal al lote, tres parcelas de 5 surcos y 10 m de longitud (80 m²).
2. Recoger, clasificar y pesar el material molible, discriminando: tallos molibles, enteros y troceados, tallos y/o porciones dañadas, tocones y despunte excesivo.

Debido a que cierto tipo de pérdidas de materia prima no pueden recogerse y pesarse en su totalidad (pérdidas invisibles), para estimar un valor más realista conviene corregir el peso de la fracción "tallos y/o porciones dañadas", por un factor "1,5" y recién sumar al peso de los restantes componentes.

Cálculo:

$$\text{Peso P.M.P/ ha} = \frac{\text{Peso P.M.P. (Total corregido de las 3 parcelas)} * 10.000}{\text{Área de las tres parcelas (240 m}^2\text{)}}$$

$$\text{P.M.P.\%} = \frac{\text{Peso P.M.P./ha}}{\text{Rendimiento Cultural/ha}}$$

Se considera como un umbral aceptable de pérdidas de materia prima para una cosecha eficiente, un valor no mayor al **2 - 2,5 %**.

Estimación del Contenido de Materias Extrañas (Trash)

A fin de efectuar un control frecuente del contenido de materias extrañas que acompaña a la caña cosechada durante la evolución de la zafra, se propone la siguiente metodología:

Tomar al azar, tres muestras de 25 kg de caña cosechada durante la carga. Luego, volcar el material muestreado sobre una lona o plástico, separar y pesar:

- Los tallos molibles.
- La materia extraña: hojas verdes/secas, despunte, malezas, tierra y otros.

Calcular:

$$\text{Trash(\%)} = \frac{\text{Peso Material no Molible (3 muestras)}}{\text{Peso total Muestras (75 kg)}}$$

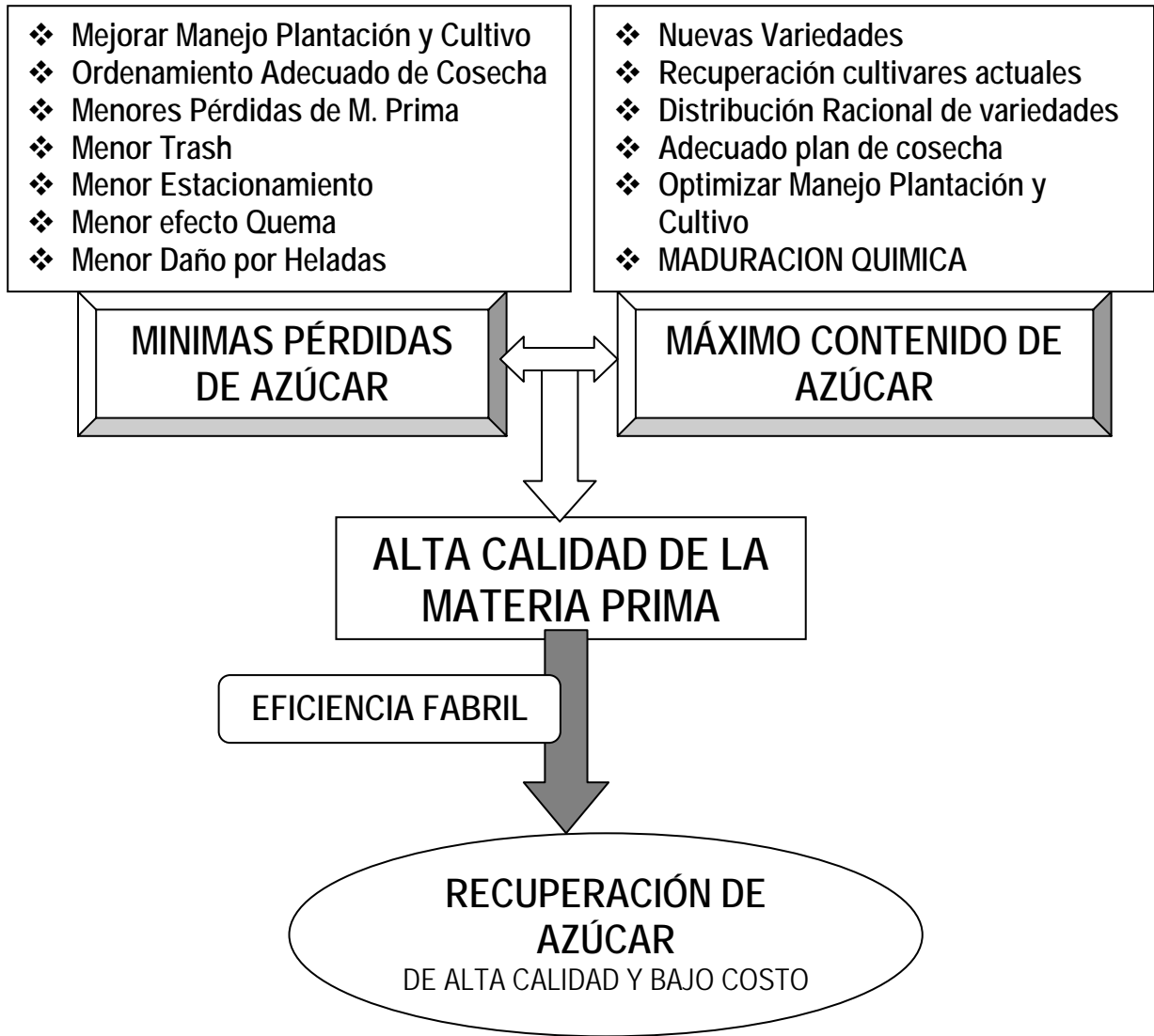
Alternativas para optimizar la calidad de la materia prima

Se pueden señalar dos grandes caminos para mejorar la calidad de la materia prima (figura):

a.- Maximizar el contenido de azúcar de los cañaverales: mediante la incorporación de nuevas variedades, de tecnologías y de estrategias de manejo destinadas a optimizar la maduración y la calidad de la materia prima.

b.- Minimizar las pérdidas de azúcar: controlando la incidencia de los factores responsables de pérdidas de azúcar durante la cosecha y transporte, mediante una mejor planificación, una ejecución eficiente y un mayor control de las operaciones involucradas.

El logro de una zafra ordenada , durante la cual se recupere la máxima cantidad posible del azúcar potencialmente disponible en el campo, debe constituir una meta perseguida por todos los sectores de la actividad, considerando su gravitación en la cantidad y calidad del azúcar a obtener, como en la rentabilidad de la agroindustria.



Es imprescindible comprender que la mejora de la calidad es un compromiso de todos, donde todos los sectores del proceso productivo deben estar involucrados y que no se lograrán mejoras sustanciales si no se realizan frecuentes y efectivos controles de calidad.

