

# Metodología de evaluación de la materia extraña en la fábrica

Manual de estandarización  
y guía ilustrada





Gómez Duque, María Alejandra

Metodología de evaluación de la materia extraña en la fábrica.  
Manual de estandarización y guía ilustrada / María Alejandra  
Gómez Duque; Diana Milena Méndez Quintero; Alejandro  
Estrada Bedón - Cali: Centro de Investigación de la Caña  
de Azúcar de Colombia, 2024.

88 p.

ISBN 978-958-8449-41-8

Incluye referencias bibliográficas

1. Caña de azúcar. 2. Materia extraña. 3. Muestreo.  
4. Residuos. 5. Pérdidas de sacarosa. 6. Calidad de caña.  
7. Procesos fabriles. 8. Cosecha.

I. Méndez Quintero, Diana Milena. II Estrada Bedón, Alejandro.  
III. Título.

633.61 CDD 23 ed.  
G633

Cenicaña - Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

Cenicaña © 2024  
www.cenicana.org

#### Cita bibliográfica

Gómez Duque, M.A., Méndez Quintero, D.M. & Estrada Bedón, A. (2024).  
*Metodología de evaluación de la materia extraña en la fábrica. Manual  
de estandarización y guía ilustrada.* Cenicaña

---

Producto editorial del proyecto **Calidad de caña.**  
Programa de Procesos de Fábrica de Cenicaña.

---

# gracias

A todos los colaboradores de la agroindustria de la caña de azúcar de Colombia que contribuyeron en la formulación del plan de trabajo para la estandarización de la metodología de evaluación de la materia extraña en la caña cosechada, así como a quienes participaron en los estudios y las actividades que dieron lugar a esta publicación.

Gracias, líderes de calidad y de cosecha de los ingenios Carmelita, Incauca, La Cabaña, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Risaralda, Riopaila-Castilla y Sancarlos, por favorecer el trabajo en equipo, abriendo las estaciones de materia extraña en las fábricas, dedicando tiempo y compartiendo información y experiencias.

A los equipos de investigación y servicios de Cenicaña, por su contribución en la experimentación y el desarrollo del proyecto: Programa de Procesos de Fábrica, macroproyecto CATE fase II y servicios de Analítica y Gestión de Conocimiento.



# presentación

En los últimos años, el sector agroindustrial de la caña se ha enfrentado al incremento significativo de la cosecha mecanizada. Este cambio en el sistema de cosecha ha traído consigo un aumento en el contenido de materia extraña que ingresa a las fábricas, lo que compromete la calidad de los jugos y el rendimiento fabril debido a la dilución de la sacarosa y a la presencia de impurezas tales como azúcares reductores, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, entre otros.

En esta nueva realidad, la estandarización de las metodologías utilizadas para evaluar la calidad de la materia prima es fundamental para asegurar la calidad y consistencia de los resultados entregados por las estaciones de materia extraña. Es así como en el marco del proyecto de Calidad de caña, Cenicaña ha liderado el trabajo de estandarización junto con los jefes de las áreas de calidad y cosecha de los ingenios, promoviendo el establecimiento de prácticas que orienten el proceso de cuantificación de materia extraña en la industria.

Como un resultado de este trabajo conjunto, presentamos la *Metodología de evaluación de la materia extraña en la fábrica*, que consta de tres unidades en las cuales se aborda el proceso de estandarización en el sector y los acuerdos realizados en su desarrollo, el protocolo para ejecutar la evaluación en la fábrica y finalmente, directrices y ejemplos prácticos para la correcta identificación y separación de los componentes de materia extraña.

Adicionalmente, se ofrecen recursos de información y capacitación que pueden ser usados para la formación del personal nuevo y el antiguo con el fin de desarrollar en ellos las capacidades para la evaluación de la materia extraña y fortalecer sus competencias para llevar a cabo estas tareas de manera sencilla y eficiente.

**Nicolás Javier Gil Zapata**  
*Director del Programa  
de Procesos de Fábrica*



# contenido



Pág. 8

## Introducción

Pág. 9

### Unidad 1.

Recorrido por el proceso de estandarización, paradas y acuerdos

Pág. 55

### Unidad 2.

Metodología para la evaluación de la materia extraña en la fábrica

Pág. 69

### Unidad 3.

Guía ilustrada para la separación de los componentes de la materia extraña

Pág. 75

### Anexo A1.

Recursos para capacitación y transferencia de conocimientos

Pág. 79

### Anexo A2.

Mención de colaboradores y galería de fotos

Pág. 85

## Referencias

.....

## Introducción

Esta guía ha sido desarrollada para que el personal responsable del análisis de los contenidos de materia extraña que ingresa a la fábrica y su gestión, tenga conocimiento de las actividades desarrolladas durante el plan de estandarización de la metodología de evaluación de la materia extraña en la fábrica, realizado en el sector agroindustrial de la caña de azúcar en Colombia.

### La guía consta de tres unidades

- 01 Aborda la metodología que utilizó el plan.
- 02 Describe cómo ejecutar esta metodología.
- 03 Contiene unas directrices prácticas para la separación de los componentes de materia extraña.



unidad

.....

# 01

## Recorrido por el proceso de estandarización, paradas y acuerdos



## Breve historia...

El Programa de Procesos de Fábrica de Cenicaña ha resaltado la necesidad de estandarizar las metodologías utilizadas para la evaluación de la calidad de la materia prima, los materiales de proceso y producto terminado.

Con este propósito, entre 2003-2023 se han realizado diferentes estudios. En la **Figura 1** se relacionan los hitos más relevantes en este sentido.

Figura 1.  
Hitos relevantes  
en la metodología  
de evaluación de  
la materia extraña.

### Antecedentes:

#### antes del 2016

- Evaluación en un ingenio piloto del impacto de la materia extraña en la sacarosa con dos sistemas de corte (2003).
- Estimación del factor de impacto en la sacarosa por materia extraña 1% ME = disminuye 1% del contenido de sacarosa.
- Componentes de la materia extraña en la caña cosechada (2005).
- Evaluación del impacto de la materia extraña en procesos sucro-energéticos en ingenios piloto (2012-2015).

### Línea base y estudios de variabilidad de materia extraña: campo, *core sampler* y ñada:

#### 2016 - 2019

- Identificación de metodologías de siete ingenios.
- Se ejecutaron estudios preliminares de variabilidad de materia extraña en tres puntos: campo, *core sampler* y ñada, que sirvieron como punto de partida para investigaciones posteriores.

### Propuesta de nuevo plan de trabajo Cenicaña-Sector:

#### 2021

- Consolidación de equipo multidisciplinario conformado por Cenicaña y doce ingenios del valle del río Cauca.

### Desarrollo de actividades del *roadmap*:

#### 2022

- Ensayos piloto en campo, escala laboratorio e ingenios, análisis de resultados y generación de información, reuniones y seguimiento al plan de trabajo, visitas entre ingenios, entre otros.

### Acuerdos y definiciones:

#### 2023

- Definición de acuerdos en el sector.
- Documentación de la estandarización.
- Transferencia.



## Una nueva etapa: 2021-2023

Durante los últimos años la cosecha mecanizada se ha incrementado significativamente (**Figura 2**). Dados los nuevos retos que esto implica en cuanto a mayor contenido de materia extraña que porta la caña de azúcar que llega a la fábrica y en busca de estandarizar la metodología para evaluarla, a comienzos de 2021 se conformó un equipo multidisciplinario con miras a estructurar y desarrollar un plan de trabajo en tal sentido (**Figura 3**). El equipo estuvo integrado tanto por profesionales del Programa de Procesos de Fábrica, del Macroproyecto CATE fase II y del Servicio de Analítica de Cenicaña, como del sector agroindustrial de la caña de azúcar representado por los jefes y coordinadores de calidad y jefes de cosecha de doce ingenios: Risaralda, Riopaila Castilla (dos plantas), Manuelita, Pichichí, Sancarlos, Carmelita, Mayagüez, La Cabaña, María Luisa, Incauca y Providencia.

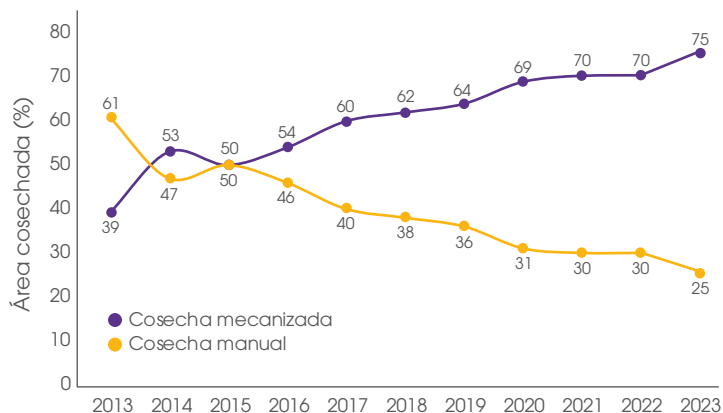


Figura 2. Evolución de las cosechas mecanizada y manual en el sector entre 2013 y 2023.

## Roadmap

Proceso de estandarización de la metodología para detectar la materia extraña y gestionarla.



### Entender

La situación actual a través de un diagnóstico del sector: levantamiento de línea base y visitas a estaciones de materia extraña de los ingenios.

### Analizar

- Datos de materia extraña del año 2020 de 11 ingenios mediante herramientas estadísticas.
- Definir estudios de variabilidad en *core sampler* y ñuada.



### Realizar

- Estudios de variabilidad de materia extraña entre suerte-trenes-vagón y profundidades.
- Ejercicios de identificación de componentes.
- *Benchmarking* colaborativo entre ingenios.
- Comparativos entre *core sampler* y ñuada.



### Definir

- Error y nivel de confianza de los métodos de muestreo.
- Categorización de componentes.
- Cuantificación de componentes.



### Documentar e implementar

- Documentar el protocolo de evaluación.
- Adoptar la metodología en los ingenios.

Figura 3. Roadmap desarrollado para estandarización de la metodología.



## Primera parada

### Diagnóstico del sector

Para conocer el estado de las metodologías aplicadas en el sector se construyó una línea base a partir de una encuesta diligenciada por los jefes/coordinadores de calidad en *Google forms*. Esta actividad permitió caracterizar las prácticas y procedimientos utilizados en cada ingenio y definir la ruta para el plan de trabajo. Adicionalmente, se complementó este diagnóstico con visitas y entrevistas del equipo de Cenicaña a los ingenios para conocer en el sitio cómo evaluaba cada uno de ellos el contenido de materia extraña que ingresaba con la caña a su planta y qué acciones tomaba. Del análisis de la encuesta se definieron los aspectos más relevantes de esta operación, a saber:

- Categorización de componentes como chulquines y cepas.
- Criterios de separación de componentes adheridos.
- Frecuencia de muestreo de los trenes.
- Cantidad de muestra.
- Acciones a tomar en caso de datos atípicos.
- Prácticas realizadas durante el procesamiento de las muestras.
- Desconocimiento del error del muestreo.



Para conocer los resultados de la encuesta, escanea este QR.



Escaneando este QR podrás hacer un recorrido por las estaciones de materia extraña de los ingenios.

## Segunda parada

### Análisis estadístico de datos 2020

Para conocer las tendencias del comportamiento de la materia extraña vegetal, mineral y total en el sector, se solicitó a los ingenios que presentaran los resultados diarios del año 2020 a este respecto. Estos fueron analizados por el Servicio de Analítica de Cenicaña utilizando el *software* SAS. A continuación se presentan las conclusiones más importantes:

- 1 Al comparar los resultados de materia extraña vegetal, mineral y total entre *core sampler* y uñada se evidencian diferencias entre ellos tanto en magnitud como en variabilidad. La variabilidad es mayor en el *core sampler*.
- 2 Hojas y cogollos son los mayores componentes en ambos tipos de cosecha.
- 3 Al comparar qué tanto representan los métodos de muestreo en términos de cantidad de muestra tomada y toneladas de caña cosechada por suerte, se evidencia que es mayor la uñada, ya que la muestra oscila entre 80-100 kg. Sin embargo, debe aclararse que un tamaño apropiado de muestra no depende solamente de la cantidad tomada, sino de condiciones como:
  - La variabilidad del fenómeno (a más variabilidad más muestras a tomar para tener un valor representativo en la evaluación).
  - El error de muestreo deseado (límite de error, precisión).
  - La confiabilidad (probabilidad) de estar dentro de ese límite.



Para conocer el resumen de los resultados, escanea este QR.





Tercera parada

## Estudios de variabilidad de materia extraña en *core sampler* y uñada

Para definir la configuración de muestreo óptima es preciso establecer el nivel de confianza y el límite de error que se esperan en la expresión de los resultados. Con tal propósito es necesario realizar estudios de variabilidad del fenómeno, específicamente de la materia extraña, para saber cómo es su comportamiento. En tal sentido, entre 2022 y 2023 se llevaron a cabo estos estudios en diferentes ingenios para los dos métodos de muestreo. En *core sampler* participaron los ingenios Manuelita, Riopaila, Castilla, Incauca y Providencia; en uñada, Carmelita, Risaralda, Pichichí y María Luisa. Los estudios de variabilidad se realizaron en dos fases, como se presenta en las Figuras 4 a 7.



Figura 4. Diagrama de ensayo de variabilidad en *core sampler* fase 1.



1  
⋮



Selección de una suerte entre 1-5 hectáreas cosechadas mecánicamente en verde o manualmente quemada.

2  
⋮



Selección de cinco trenes provenientes de esta suerte.

3  
⋮



Selección aleatoria de un vagón de transporte por cada tren.

4  
⋮



Ejecución de muestreo en tres puntos diferentes a lo largo del vagón de transporte a nivel superficial.

5  
⋮



Evaluación de la materia extraña vegetal y mineral en las muestras tomadas.

Uñada // fase 1

Figura 5. Diagrama de ensayo de variabilidad en uñada fase 1.



1  
⋮



Selección de dos suertes de diferentes áreas (pequeña y grande) cosechadas mecánicamente en verde.

2  
⋮



Selección de tres trenes por cada suerte.

3  
⋮



Selección aleatoria de dos vagones de transporte por cada tren.

4  
⋮



Ejecución de muestreo de rutina y muestreo a dos profundidades (profundo y medio) del vagón de transporte.



Muestreo repetido en otro punto a lo largo del vagón

5  
⋮



Evaluación de la materia extraña vegetal y mineral en las muestras tomadas.

Core sampler // fase 2

Figura 6. Diagrama de ensayo de variabilidad en core sampler fase 2.



1  
⋮



Selección de dos  
suertes de diferentes  
áreas (pequeña  
y grande) cosechadas  
mecánicamente  
en verde.

2  
⋮



Selección de mínimo  
dos trenes por cada  
suerte.

### Uñada // fase 2

3  
⋮



Selección aleatoria  
de dos vagones  
de transporte por  
cada tren.

4  
⋮



Ejecución de muestreo  
en tres puntos diferentes  
a lo largo del vagón  
de transporte a nivel  
superficial.

5  
⋮



Evaluación de la materia  
extraña vegetal y mineral  
en las muestras tomadas.

Figura 7.  
Diagrama de ensayo  
de variabilidad en  
uñada fase 2.



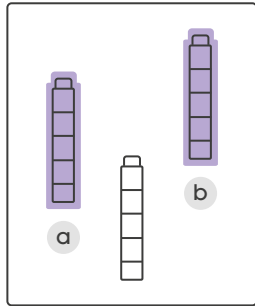
Al analizar los resultados obtenidos en las dos fases para ambos métodos de muestreo se evidenció:

- La mayor variabilidad de la materia extraña se presenta dentro del vagón, con 67% para *core sampler* (representada a lo largo y profundo del vagón) y 45% para uñada (representada a lo largo del vagón).
- Al realizar muestreos a diferentes profundidades con el *core sampler*, la materia extraña vegetal y mineral presenta un comportamiento muy variable, por lo cual no es posible definir una posición específica de muestreo.
- El material mineral es el componente que más aporta a la variabilidad de la materia extraña total, lo cual se ve reflejado en los resultados de los factores profundidad y largo del vagón evaluados.
- Es necesario tener en cuenta que para incrementar la confiabilidad y precisión de los resultados hay que realizar un mayor número de muestreos en el vagón. Sin embargo, a partir de los resultados obtenidos se pueden definir alternativas de muestreo entre suertes, trenes, vagones y posición dentro del vagón acordes con las capacidades y recursos de los ingenios, para entregar resultados de un nivel de precisión y confiabilidad aceptable.

En la **Figura 8** se presentan de forma esquemática los resultados obtenidos de acuerdo con los experimentos realizados.



01

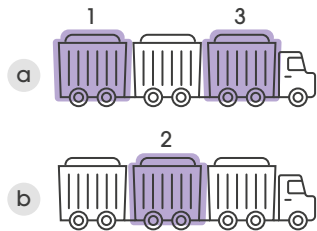


- Core sampler
- Uñada

Selección de diferentes trenes de una misma suerte.



02



Selección de diferentes vagones de un mismo tren.



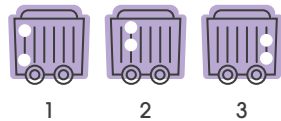
03



Muestreo en diferentes puntos a lo largo de cada vagón seleccionado.



04



Muestreo en diferentes profundidades de cada vagón seleccionado.



NA: no aplica

-----  
 -----  
 Figura 8.  
 Resultados del estudio de variabilidad de materia extraña.

#### Cuarta parada

### Desarrollo de configuraciones de muestreo, definición de 'nivel de confianza' y 'límite de error'

Con los resultados del estudio de variabilidad de materia extraña (ver **Figura 8** anterior), el Servicio de Analítica de Cenicaña realizó un análisis estadístico de la varianza con un modelo anidado entre trenes, vagones y repeticiones por vagón para calcular así el error estándar y el límite de error. Esto arrojó una confiabilidad entre el 70% y el 95%.

El nivel de confianza se refiere a la probabilidad (o grado de certeza) de que el parámetro a estimar se encuentra en el rango estimado. El límite de error es la cantidad máxima por la cual el valor de una muestra puede diferir del valor verdadero.

A partir de este análisis, apoyados en un modelo simulado, se desarrollaron dos bases de datos en Excel que permiten seleccionar múltiples escenarios de muestreo, considerando el error estándar, el límite de error y el nivel de confianza supuestos en ambos sistemas de muestreo. Estos parámetros se ajustan de acuerdo con las necesidades y capacidades específicas de cada ingenio. Con esta información se definió el Acuerdo 1. Un ejemplo del contenido de la base de datos se presenta en la **Tabla 1**.



Escanea para acceder al video que muestra cómo debes utilizar la base de datos de configuraciones de muestreo.



Nº. de vagones del tren	Nº. de vagones a muestrear	Nº. de repeticiones por vagón	Profundidades /vagón	Fracción de trenes a muestrear	Nivel de confianza	Límite de error del muestreo LE (+/-), para la confiabilidad establecida
5	2	1	1	1/2	0.8	0.60
5	2	1	1	5/9	0.8	0.58
5	1	1	1	10/10	0.8	0.59
6	2	1	1	5/9	0.8	0.58
6	1	1	1	10/10	0.8	0.60

.....

Tabla 1.  
Ejemplo de base de datos Excel con las configuraciones de muestreo.



Para acceder a la base de datos de configuraciones de muestreo completa, escanea este código QR.



### Acuerdo 1

Para establecer las configuraciones de muestreo apropiadas para los ingenios fue necesario acordar el nivel de confianza y el límite de error deseados para la expresión del contenido de materia extraña total con ambos métodos de muestreo.

Estadístico	Core sampler	Uñada
Nivel de confianza (%)	80	70
Límite de error (%)	0.65	0.80

Acordado esto, el personal de calidad y cosecha de cada ingenio definió sus propias configuraciones de muestreo de acuerdo con el sistema utilizado: *core sampler* y uñada.



Para conocer la configuración de muestreo definida por cada ingenio escanea este QR.



Firma simbólica del Acuerdo 1 (13 de abril de 2023): nivel de confianza y límite de error en el muestreo por *core sampler* y *añada*.



#### Quinta parada

## Categorización, identificación y cuantificación de componentes de materia extraña

De acuerdo con el diagnóstico de las metodologías del sector, en 2021 se identificaron las diferencias entre ingenios relacionadas con la categorización de los componentes de la materia extraña y la cuantificación de algunos de ellos.

Ya en 2005 Cenicaña había publicado en su Carta Trimestral, bajo el título *Componentes de la materia extraña en la caña cosechada* (Larrahondo, 2005) el resultado de un estudio en el cual se definía la composición de la materia extraña tanto vegetal como mineral en la caña de azúcar que ingresa a la fábrica. Sin embargo, en la revisión actualizada de este factor se evidenció que el 60% de los ingenios no efectuaba la separación como estaba documentado en tal estudio. Un ejemplo de esto fue el caso del componente cepa que se define como material mineral y estos ingenios lo consideraban material vegetal.

Otro de los hallazgos relevantes relacionados con la materia extraña fue el chulquín, ya que el 50% de los ingenios no lo consideraba como tal, y el otro 50%, aunque si lo reportaba como materia extraña, argumentaba que debido a la dificultad de identificar este componente, principalmente en la cosecha mecanizada, no era completamente confiable esta cuantificación.



Para acceder a la Carta Trimestral escanea este código QR.



## Pruebas de identificación de componentes críticos en cosecha mecanizada

Cenicaña definió un estudio piloto y se llevaron a cabo pruebas de identificación con once ingenios para los tres componentes más críticos de separar en la cosecha mecanizada: tallos, cogollo y chulquín, como se presenta en la **Figura 9**.

A partir de los resultados reportados por cada ingenio se calculó el porcentaje de identificación de cada componente con respecto a los valores de referencia entregados por Cenicaña, así:

$$\frac{\text{Unidades del componente reportadas por el ingenio}}{\text{Unidades del componente entregadas por Cenicaña}} \times 100\%$$



El porcentaje de identificación esperado se encuentra en el rango de 75-125%.

Valores inferiores indican una subestimación del componente en estudio, y valores superiores indican una sobreestimación de dicho componente.

En las **Tablas 2 y 3** se presentan los resultados para los ingenios con muestreo por *core sampler* y uñada, respectivamente.

Componente	Número de ingenios (n/5) según % de identificación del componente ( <i>core sampler</i> )			
	0-50%	51-74%	75-125%	126-250%
Tallo maduro	0	0	0	5
Chulquín	4	1	0	0
Cogollo	0	2	2	1

-----

Tabla 2. Identificación de componentes en cinco ingenios con *core sampler*.



01

Se tomaron muestras en campo de tallos, cogollos y chulquines.



02

Se trocearon con una longitud aproximada de 20 cm.



03

Se conformaron dos muestras con composición diferente y cantidades conocidas de los tres componentes.

04

Se entregaron las dos muestras a cada ingenio participante (cinco ingenios con *core sampler*, seis con uñada).

05

Las muestras fueron analizadas por duplicado por cada analista de materia extraña.

06

Se calculó el % de identificación de cada componente en cada ingenio, según el método de muestreo.



-----

Figura 9. Diagrama del ensayo de identificación de componentes de materia extraña en el laboratorio (cosecha mecanizada).



Componente	Número de ingenios (n/6) según % de identificación del componente (ñaada)			
	0-50%	51-74%	75-125%	126-250%
Tallo maduro	0	0	1	5
Chulquín	3	1	1	1
Cogollo	0	2	4	0

-----  
 Tabla 3.  
 Identificación de componentes en seis ingenios con ñaada.

En ambos grupos de ingenios fue evidente la dificultad del personal evaluador para identificar las unidades de chulquines que contenían las muestras; lo cual se presenta mayormente en los ingenios con *core sampler* y concuerda con lo esperado, ya que tres de ellos no realizaban la separación de este componente en su rutina. Al evaluar los resultados de identificación del componente tallo, se observa una sobreestimación de la cantidad entregada, debido a que las unidades de chulquín se cuantificaron como tallo.

### Seguimiento de tallos inmaduros en cosecha mecanizada

En el macroproyecto CATE fase II se hizo un seguimiento a la operación de cosecha mecanizada para cuantificar el contenido de trozos molinables (maduros) y trozos inmaduros que son retirados y dejados en el campo durante la cosecha y el contenido que no es retirado y que llega finalmente a la fábrica.

Para este estudio se cuantificó previamente la cantidad de tallos maduros (molinables) y tallos inmaduros (chulquines) y se clasificaron en categorías (C1, C2, C3 y C4) de acuerdo con su longitud. Finalmente se realizó un comparativo entre el contenido inicial de tallos antes de la cosecha mecanizada y posterior a esta en el material entregado por la cosechadora. La metodología utilizada se ilustra en la **Figura 10**.

### 01 Identificación de la población

-----  
 En 10 m del surco seleccionado se realizó un conteo de tallos y toma de altura. Los tallos fueron marcados con pintura de diferente color según la categoría (C1 a C4).



### 02 Recolección de la muestra

-----  
 Durante la operación de la cosechadora (10 m), todo el material arrojado por el extractor secundario fue recolectado en lonas.

### 03 Variables de interés



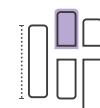
#### Separación

de los trozos molinables (C4) y los trozos inmaduros (C1, C2 y C3) en la muestra colectada.



#### Pesaje y cuantificación

de los trozos presentes en las categorías C1, C2 y C3.



#### Medición de longitud

de cada uno de los trozos y cálculo de la longitud promedio.



#### Estimación de tallos inmaduros

dejados en el campo, como la diferencia entre el peso antes de la cosecha y después de ella.

-----  
 Longitud de tallos (cm)

- C1 ● <50 cm
- C2 ● 51-100 cm
- C3 ● 101-150 cm
- C4 ● >151 cm

-----  
 Figura 10.  
 Metodología de evaluación de tallos dejados en el campo después de la cosecha mecanizada.





Las evaluaciones señalaron que:

- La mayoría de los tallos correspondieron a la categoría C4, es decir, tallos molinables con longitud mayor que 150 cm (Figura 11).
- En el total de tallos inmaduros (C1, C2 y C3), el 87% (40 tallos) no superaban los 100 cm de longitud (Figura 12).
- Luego de la cosecha, el 81% de los tallos inmaduros menores de 50 cm (C1) fueron removidos por el extractor secundario de la cosechadora y dejados en el campo. La misma situación se presentó con el 45% de los tallos de la categoría C2 (51-100 cm). Estos valores fueron calculados con base en la clasificación inicial de tallos y las mediciones de los trozos colectados (Figuras 13 a 15).
- De esto se infiere que los tallos de longitud menor que 100 cm (<1 m) son retirados en su gran mayoría de la materia prima entregada por la cosecha a la fábrica.

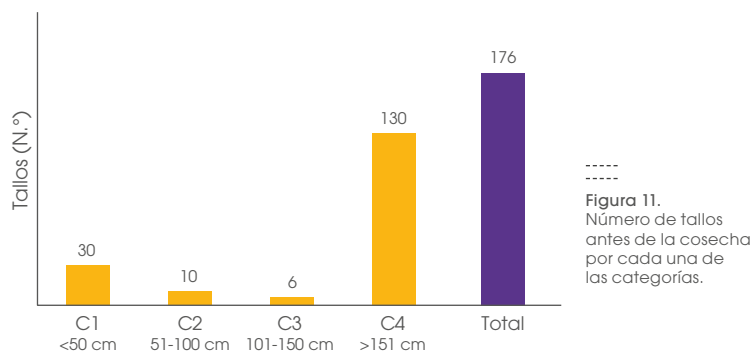


Figura 11. Número de tallos antes de la cosecha por cada una de las categorías.

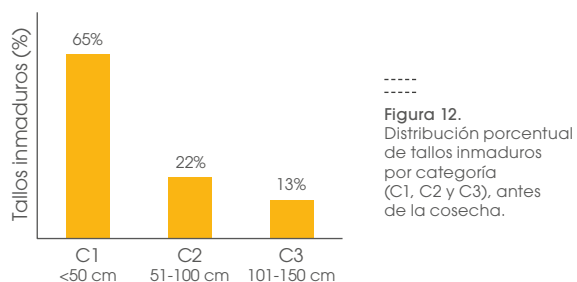


Figura 12. Distribución porcentual de tallos inmaduros por categoría (C1, C2 y C3), antes de la cosecha.

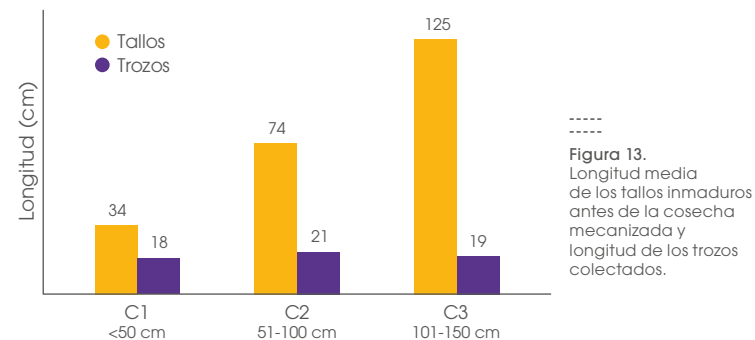


Figura 13. Longitud media de los tallos inmaduros antes de la cosecha mecanizada y longitud de los trozos colectados.

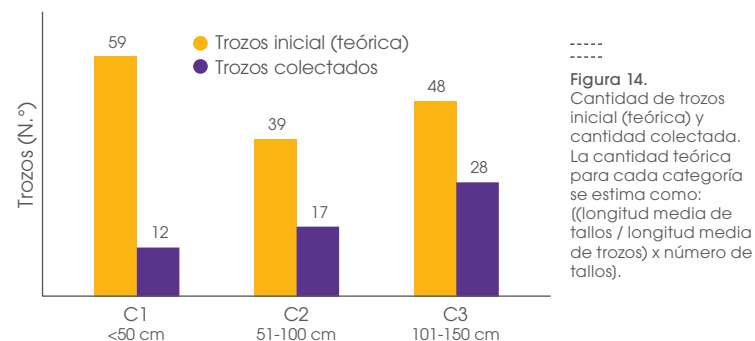


Figura 14. Cantidad de trozos inicial (teórica) y cantidad colectada. La cantidad teórica para cada categoría se estima como:  $((\text{longitud media de tallos} / \text{longitud media de trozos}) \times \text{número de tallos})$ .

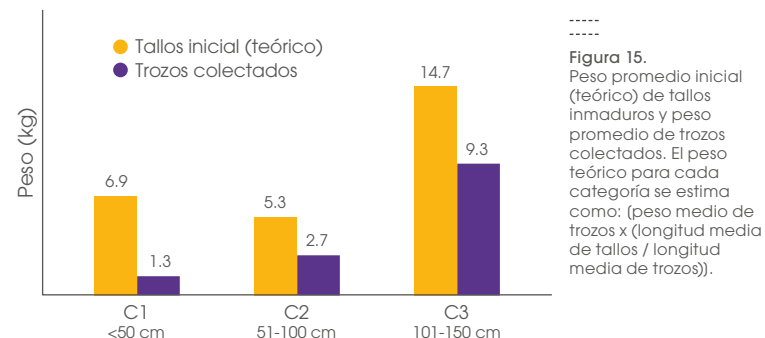


Figura 15. Peso promedio inicial (teórico) de tallos inmaduros y peso promedio de trozos colectados. El peso teórico para cada categoría se estima como:  $(\text{peso medio de trozos} \times (\text{longitud media de tallos} / \text{longitud media de trozos}))$ .



Con base en los resultados de los dos estudios descritos, en consenso con el sector se definió que el chulquín proveniente de la cosecha mecanizada no será tenido en cuenta en la cuantificación de la materia extraña vegetal, sino que será calificado como tallo molinable.

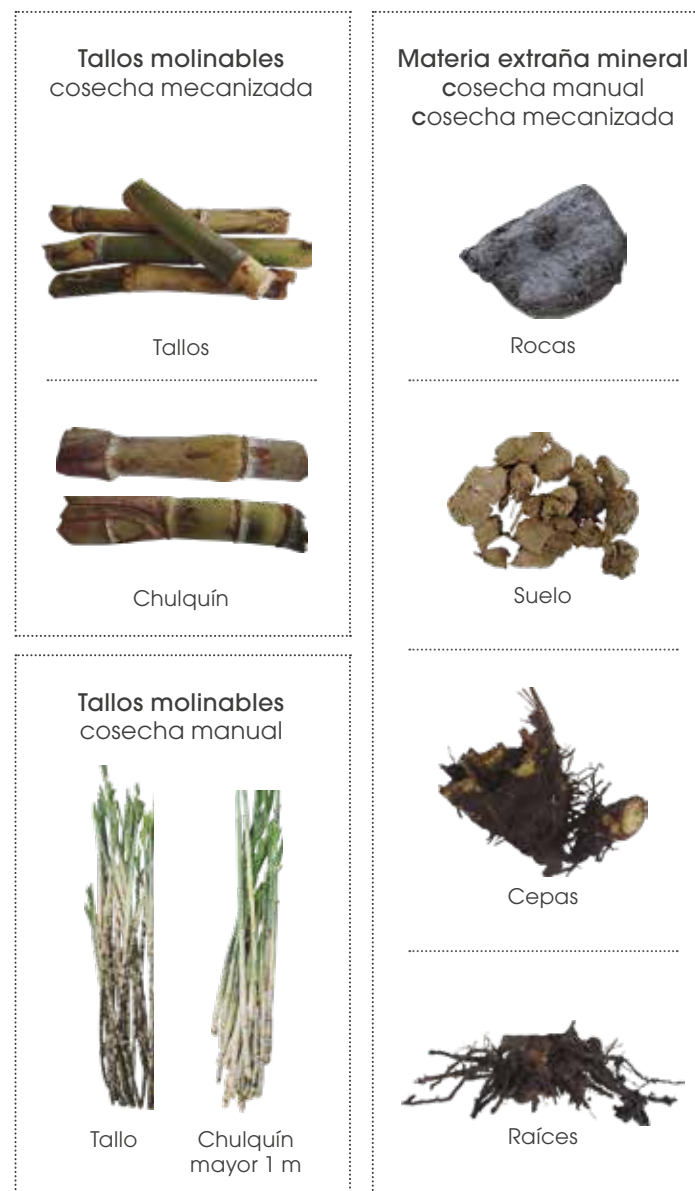


### Acuerdo 2

La clasificación de componentes se realizará de la siguiente forma (Figuras 16 a 21):

- **Cosecha mecanizada:** el componente chulquín no será cuantificado como materia extraña en ninguno de los dos métodos de muestreo: *core sampler* y uñada. Se cuantificará el chulquín como tallo molinable.
- **Cosecha manual:** en el muestreo con uñada, el chulquín con longitud mayor que 1 metro será cuantificado como tallo molinable y el chulquín menor o igual que 1 m será cuantificado como materia extraña vegetal. En las muestras con *core sampler* se conserva el mismo criterio de la cosecha mecanizada (se cuantificará el chulquín como tallo molinable).
- **Para cosecha manual y cosecha mecanizada:** el componente cepa será clasificado como materia extraña mineral en los dos métodos de muestreo (*core sampler* y uñada).

Adicionalmente se definió, igualmente en consenso, que los ingenios que realizan una separación e identificación individual de los componentes en la materia extraña vegetal, agruparán el componente hojas como uno solo, que consta de hojas verdes, hojas secas y yaguas.



-----  
 Figura 16.  
 Clasificación de los tallos molinables tanto en la cosecha mecanizada como en la manual con el método de muestreo uñada.

-----  
 Figura 17.  
 Clasificación de materia extraña mineral tanto en la cosecha mecanizada como en la cosecha manual con el método de muestreo uñada.



Materia extraña vegetal  
cosecha manual  
cosecha mecanizada



Maleza



Lalas



Cogollo



Yaguas



Hojas secas



Caña seca



Hojas verdes



Chulquín  
menor o  
igual 1 m  
Solo aplica  
para cosecha  
manual

-----  
Figura 18.  
Clasificación de la materia extraña vegetal tanto  
en la cosecha mecanizada como en la cosecha  
manual con el método de muestreo uñada.



Tallos molinables  
cosecha manual  
cosecha mecanizada



Tallos



Chulquín

-----  
Figura 19.  
Clasificación de los tallos  
molinables tanto en la  
cosecha mecanizada  
como en la cosecha manual  
con el método de muestreo  
*core sampler*.

Materia extraña mineral  
cosecha manual  
cosecha mecanizada



Rocas



Suelo



Cepas



Raíces

-----  
Figura 20.  
Clasificación de la materia extraña  
mineral tanto en la cosecha meca-  
nizada como en la cosecha manual  
con el método de muestreo *core  
sampler*.



Materia extraña vegetal  
cosecha manual  
cosecha mecanizada



Maleza



Lalas



Cogollo



Yaguas



Hojas secas



Caña seca



Hojas verdes

-----  
Figura 21.  
Clasificación de la materia  
extraña vegetal tanto en la  
cosecha mecanizada como  
en la cosecha manual con  
el método de muestreo  
*core sampler*.



Acuerdo 2 (12 de mayo de 2023):  
clasificación de componentes  
de materia extraña por tipo de  
muestreo.





Sexta parada

## Estudios comparativos entre *core sampler* y ñada

Entre 2022 y 2023 se realizaron dos estudios comparativos de los métodos de muestreo *core sampler* y ñada en el ingenio Manuelita, con el objetivo de evaluar las diferencias en los resultados de materia extraña vegetal, mineral y total obtenidos con cada uno.

En el primer estudio se realizó el muestreo de doce vagones de transporte por ambos métodos de muestreo y por duplicado, para obtener un total de sesenta datos. Se cuantificó la materia extraña mineral (suelo, rocas), la materia extraña vegetal (hojas, yaguas, malezas, cogollos) y la materia extraña total (suma de la vegetal y la mineral). Los resultados fueron procesados por el Servicio de Analítica de Cenicaña mediante el *software* SAS, utilizando el análisis de Bonferroni con un nivel de significancia de 0.05, y se presentan en la **Tabla 4**.

Componente materia extraña	<i>Core sampler</i>	DE <sup>1</sup>	Ñada	DE <sup>1</sup>	Diferencia estadística*
Vegetal (%)	12.91	6.37	16.10	5.11	Si
Mineral (%)	0.31	0.98	0.21	0.43	No
Total (%)	13.22	6.68	16.31	5.24	Si

1. DE: desviación estándar, 60 datos.

\* Bonferroni ( $\alpha = 0.05$ ).

-----

Tabla 4.  
Resultados del comparativo de métodos *core sampler* y ñada en muestreo de doce vagones, ingenio Manuelita.



Acuerdo 2.

Materia extraña en cosecha manual con muestreo por ñada (arriba).  
Materia extraña en cosecha mecanizada con muestreo por ñada (centro).  
Materia extraña en cosecha manual y cosecha mecanizada con muestreo por *core sampler* (abajo).



Estos resultados comprobaron lo siguiente:

- La variabilidad obtenida con el método de muestreo *core sampler* es mayor que con el de ñada, lo cual corrobora los resultados de estudios anteriores. Esto puede deberse a que el *core sampler* toma muestras de forma transversal, capturando así una mayor variabilidad del fenómeno, a diferencia de la ñada que realiza el muestreo a nivel superficial.
- Los dos métodos de muestreo no son comparables ni homologables entre sí, debido a las diferencias estadísticas entre el contenido de materia extraña vegetal y total.
- Así mismo, debido a la variabilidad en el comportamiento de la materia extraña, no se puede establecer una correlación entre los dos métodos, ni asegurar que los resultados en uno de ellos sean siempre mayores o menores que en el otro.

En el segundo estudio se utilizó un vagón de transporte con 20 toneladas de caña mecanizada y se realizó el muestreo con ñada y con *core sampler*. Posterior a esto, se analizó el vagón completo que previamente había sido descargado en el patio. Adicionalmente, en diferentes puntos del arrume en patio se tomaron quince submuestras de 10 kg cada una. En todos los casos se cuantificó la materia extraña (vegetal, mineral y total) de la forma ya descrita. Los resultados fueron procesados por el Servicio de Analítica de Cenicaña mediante el *software* SAS, utilizando el análisis de Bonferroni con un nivel de significancia de 0.05 (Tabla 5).

Materia extraña vegetal (%)					
Tipo de muestreo	Valor medio (%)	DE <sup>1</sup>	Valor del vagón completo (%)	p-valor	Diferencia estadística*
<i>Core sampler</i>	24	1.33	15.43	0.032	Si
Ñada	22.6	2.9		0.067	Si
Submuestreo en arrume	17	5.3		0.47	No
Materia extraña mineral (%)					
Tipo de muestreo	Valor medio (%)	DE <sup>1</sup>	Valor del vagón completo (%)	p-valor	Diferencia estadística*
<i>Core sampler</i>	1.59	1.17	0.1	0.322	Si
Ñada	0.32	0.09		0.199	Si
Submuestreo en arrume	1.23	0.5		<0.0001	No
Materia extraña total (%)					
Tipo de muestreo	Valor medio (%)	DE <sup>1</sup>	Valor del vagón completo (%)	p-valor	Diferencia estadística*
<i>Core sampler</i>	25.6	2.5	15.53	0.075	Si
Ñada	22.9	3		0.043	Si
Submuestreo en arrume	17.9	5.6		0.27	No

1. DE: Desviación estándar.

\* Bonferroni ( $\alpha = 0.05$ ). Control = vagón completo.

-----

Tabla 5.  
Comparación de tres métodos de muestreo con valor de referencia (vagón completo).



De acuerdo con el estudio, se detectaron:

- Diferencias entre métodos de muestreo: se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de materia extraña vegetal, mineral y total entre la evaluación del vagón completo y los métodos de muestreo *core sampler* y *uñada*. No se detectaron diferencias significativas entre los valores del vagón completo y la media de los quince submuestreos de 10 kg, lo cual puede deberse a que una mayor frecuencia de muestreo proporciona una muestra más representativa, que se acerca al valor verdadero.
- Materia extraña mineral: se obtuvo un valor de materia extraña mineral más bajo en la evaluación del vagón completo comparado con los tres métodos de muestreo. Esta diferencia pudo deberse al reordenamiento de los materiales al descargar la caña en el piso, lo que dificultó la recolección y cuantificación del material mineral más pequeño.
- Limitaciones del estudio comparativo: este estudio solo se puede considerar como un referente y no es concluyente. Para obtener conclusiones sólidas, sería necesario realizarlo con un mayor número de repeticiones, lo cual no es viable logísticamente.
- Precisión de los métodos de muestreo: no es correcto concluir que alguno de los dos métodos de muestreo sobrestime o subestime el valor real del vagón.



Aspectos de estudio realizado en el ingenio Manuelita (25 de octubre de 2022).



Séptima parada

## Benchmarking colaborativo entre ingenios

Durante el desarrollo del plan de estandarización, el personal de calidad y de cosecha de algunos ingenios planteó la necesidad de realizar visitas a las fábricas con el propósito de conocer las estaciones de materia extraña, identificar buenas prácticas en las metodologías y conocer las diferencias entre las actividades realizadas. En tal sentido, se visitaron los ingenios Castilla, Providencia, Incauca y Carmelita.

- Observación directa de procedimientos: cómo operan las estaciones de materia extraña, incluido el manejo de equipos y técnicas de muestreo, procedimientos de separación de componentes, cuantificación y registro de la información.
- Identificación de buenas prácticas: distribución de los equipos de trabajo, tipo de infraestructura, metodologías de muestreo, características de maquinaria y equipos.
- Comparación de metodologías: socialización de las ventajas y las desventajas de los métodos, lo que permitió una evaluación crítica de estos.
- Intercambio de conocimientos y experiencias: acercamiento del personal de calidad y cosecha de los distintos ingenios, enriqueciendo las conversaciones técnicas para mejorar las prácticas existentes y fortalecer los acuerdos.
- Implementación de mejoras: tras las visitas, los distintos ingenios decidieron implementar en sus laboratorios nuevas técnicas de muestreo y ajustes en los procedimientos de evaluación de la materia extraña.
- Capacitación y entrenamiento: analistas de las estaciones de materia extraña recibieron acompañamiento de otros ingenios enfocándose en las buenas prácticas observadas.

La experiencia fortaleció el aprendizaje, la colaboración y la implementación de mejoras prácticas en las estaciones de materia extraña. Este intercambio es fundamental para lograr la estandarización y optimización de los procesos.



Jefes de calidad y de cosecha en encuentros de benchmarking colaborativo entre ingenios (2022), en orden descendente: 1. Castilla, 2. Incauca, 3. Providencia y 4. Carmelita.





Octava parada

## Caracterización de la biomasa de la caña de azúcar

Con el desarrollo de nuevas variedades de caña de azúcar, indispensable para mejorar la productividad y rentabilidad de la agroindustria de la caña, aunado al incremento de la cosecha mecanizada, surgió la necesidad de identificar las diferencias fisicoquímicas de los componentes de la biomasa de la caña que influyen en su calidad y por consiguiente en el producto obtenido.

En tal sentido, entre 2021 y 2022 se realizó una caracterización fisicoquímica de los componentes cogollo, chulquín, hojas totales (hojas verdes, hojas secas y yaguas) y tallo en tres variedades comerciales. A continuación se presentan los resultados promedio obtenidos (Tabla 6, Figura 22).



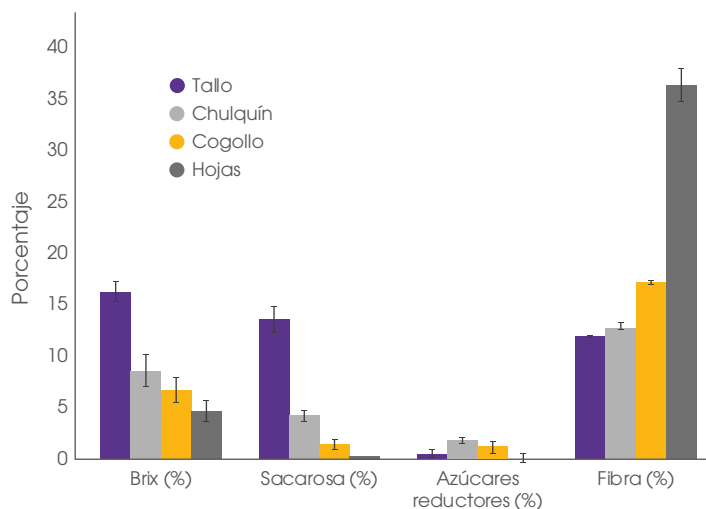
Biomasa de la caña que influye en su calidad y por consiguiente en el producto obtenido.

Parámetro	Tallo	Chulquín	Cogollo	Hojas
Brix (%)	16.2	8.3	6.5	4.5
Sacarosa (%)	13.5	4.2	1.4	0.1
Azúcares reductores (%)	0.4	1.8	1.1	0.1
Fibra (%)	11.8	12.7	17.1	36.3
Fosfatos (ppm)	452	581	538	519
Color UI	8305	11,733	27,547	434,407
Fenoles (ppm)	331	311	542	1,084
Flavonoides (ppm)	61	92	151	186
Ácido aconítico (ppm)	1407	3214	5183	2345
pH	5.3	5.2	5.0	5.3
Almidón (ppm)	107	92	121	510
Potasio (ppm)	1327	2917	4207	2163
Minerales: Ca, Mg, Na (ppm)	863	822	1225	4203
Cenizas conductimétricas (%)	0.5	0.9	1.4	1.0

-----

Tabla 6.  
Propiedades fisicoquímicas de los componentes de la biomasa de la caña de azúcar de tres variedades comerciales.





-----  
 -----  
**Figura 22.**  
 Propiedades fisicoquímicas de los componentes de la biomasa de la caña de azúcar de tres variedades comerciales.

### Novena parada

## Efectos de la materia extraña en la calidad de los jugos y el proceso fabril

La incorporación de materia extraña al proceso fabril genera incrementos en el color y en los contenidos de no sacarosas (sólidos solubles diferentes a la sacarosa, que incluyen los azúcares reductores y otras sustancias orgánicas e inorgánicas) (Larrañondo, 1995), lo cual se traduce en problemas en las diferentes

etapas del proceso como deterioro de la calidad de los materiales y aumento de los tiempos de procesamiento, de consumo de insumos, de energía y de costos de mantenimiento de los equipos.

Por esta razón, Cenicaña ha llevado a cabo diversos estudios con el objetivo de evaluar y cuantificar el impacto de la materia extraña en el proceso. A continuación, se describen algunos de ellos.

En 2012, Cenicaña llevó a cabo un estudio para evaluar la influencia de la materia extraña sobre la operación de la molienda y la calidad del jugo resultante. Se evaluaron tres escenarios en campo, variando la configuración de los extractores primario y secundario de las cosechadoras, y se examinó su efecto en la molienda y la clarificación a nivel laboratorio para las variedades CC 93-4418 y CC 85-92, con los siguientes resultados (Gómez et al., 2012):

- Tasa de molienda: un incremento del 1% de materia extraña generó una disminución de 2.5% a 2.9% en la tasa de molienda, lo que provocó una caída en la demanda energética del molino e incrementó el desgaste de los elementos mecánicos.
- Índice de preparación y calidad de caña: (por cada 1% de materia extraña) el índice de preparación disminuyó entre 0.22-0.28 y el indicador de calidad de caña, entre 3.0% y 3.4%.
- Consumo energético en preparación: al aumentar la materia extraña se incrementó el consumo energético en preparación para evitar que la extracción se viera afectada. Sin embargo, en porcentajes muy altos de materia extraña no fue posible mantener una operación estable.
- Clarificación: el incremento de la materia extraña disminuyó la velocidad de clarificación, incrementó el color y la turbiedad de los jugos, por lo que se requirió el uso de floculantes con una densidad de carga dependiente del aumento de las impurezas.



En 2015 se caracterizó el impacto de la materia extraña en la estabilidad y eficiencia de los procesos sucro-energéticos y la calidad de los materiales intermedios. Los resultados más relevantes fueron los siguientes (Lucuara et al., 2015):

- Desempeño de la extracción: un incremento de una unidad porcentual de fibra asociada a mayor contenido de materia extraña generó una disminución de 0.09 unidades porcentuales en el indicador de calidad de caña, lo que impactó negativamente hasta en 0.5 unidades porcentuales la eficiencia de extracción.
- Desempeño de la caldera: evaluando tres niveles de contenido de cenizas en bagazo (2.2%, 7.5% y 14.0% base seca), se observó que el flujo de combustible podía incrementarse hasta en un 23% respecto a la condición promedio, debido a la disminución del poder calorífico del bagazo por la presencia de un mayor contenido de cenizas proveniente de la materia extraña mineral.
- Calidad de los materiales y eficiencia del proceso de clarificación: con un incremento en el contenido de materia extraña vegetal de 1.2% a 11.1%, el color del jugo diluido aumentó de 8900 UI a 27,100 UI. Aunque en el proceso de clarificación de jugo se removió gran parte del contenido de color, el color remanente siguió siendo mayor que el obtenido con jugos provenientes de materia prima con bajos niveles de materia extraña.

En 2022 se llevaron a cabo en el laboratorio estudios de extracción de jugos por prensa hidráulica con diferentes composiciones de materia extraña vegetal (simulando los contenidos que ingresan a los ingenios), entre el 0% y el 15 %, para cuantificar los efectos de la materia extraña vegetal en la calidad fisicoquímica de los jugos obtenidos.

Los resultados se presentan de forma resumida en la **Tabla 7**.

Variable	Coefficiente de correlación	Impacto (unidades)	Tendencia
Cenizas conductimétricas (%)	0.803	0.07 ± 0.02	Aumenta
Color (UI)	0.780	329.7 ± 93.7	Aumenta
Sacarosa (%)	0.768	-0.16 ± 0.05	Disminuye
Azúcares reductores (%)	0.736	0.02 ± 0.009	Aumenta
pH	0.576	-0.015 ± 0.008	Disminuye
Almidón (ppm)	0.510	0.90 ± 0.67	Aumenta
Dextranas (ppm)	0.239	NA	NA
Fosfatos (ppm)	0.151	NA	NA
Sólidos insolubles (%)	0.149	NA	NA

NA: No aplica

-----

**Tabla 7.**  
Evaluación del impacto de la materia extraña vegetal en la calidad de jugos prensa.



Al procesar estadísticamente los resultados, se establecieron los coeficientes de correlación entre la materia extraña y el impacto en cada variable estudiada.

- Se comprobó una correlación fuerte en cenizas conductimétricas, color, sacarosa y azúcares reductores; una correlación media en pH y almidón y una correlación baja en dextranas, fosfatos y sólidos insolubles.
- Los datos y correlaciones obtenidos permiten estimar el impacto de la materia extraña vegetal en la calidad de los jugos de primera extracción. Por ejemplo, por cada 1% de materia extraña vegetal, las cenizas conductimétricas se incrementan 0.07 unidades porcentuales, mientras que la sacarosa disminuye en 0.16 unidades porcentuales por efecto de la dilución.

unidad

02

Metodología para  
la evaluación de  
la materia extraña  
en la fábrica



## Objetivo

Describir los métodos de muestreo y el procedimiento estandarizado para la evaluación y cuantificación de la materia extraña vegetal, mineral y total en la materia prima procedente de las suertes, entregada por la operación de cosecha para su molienda en la fábrica.

## Alcance

Aplica para la evaluación de la materia extraña vegetal, mineral y total en la caña que ingresa como materia prima a la fábrica, desde la toma de la muestra en vagones de transporte, con los métodos de *core sampler* o *uñada*, hasta el reporte de los resultados a las áreas de interés.

## Definiciones

**Suerte:** unidad de manejo del cultivo, división establecida en una hacienda para la administración y el control de recursos.



**Core sampler:** equipo conformado por un tubo extractor que por acción mecanizada e hidráulica permite la toma de la muestra del vagón de transporte.



**Uñada:** equipo conformado por un *grab* o *uña*, que por acción mecanizada e hidráulica permite la toma de la muestra del vagón de transporte.



**Tallos:** es la parte de la caña que se utiliza para la molienda y de la cual se extrae el jugo. En la caña, el agua representa entre 73% y 76%. Los sólidos totales solubles (brix, % caña) varían entre 10% y 16%, y la fibra (% de caña) oscila entre 11% y 16% (Cenicaña, 1995).



**Materia extraña:** es todo aquel material de origen vegetal o mineral que se mezcla con los tallos de caña cosechados y aptos para molienda (Larrahondo, 2005). Está formada principalmente por suelo, cepas, hojas y cogollos que afectan la calidad de los jugos y el rendimiento fabril (Oviedo, 2003).



**Chulquín:** tallo inmaduro de caña de azúcar que no ha completado su ciclo de crecimiento y desarrollo que conduce hacia la maduración. Se consideran chulquines aquellos tallos menores o iguales a 1 m.



**Cogollo:** porción superior del tallo comprendida entre el ápice y el punto natural de quiebre. Puede contener jugos con niveles muy bajos de sacarosa no extraíble.



**Hojas:** lámina foliar verde o seca que se incorpora con los tallos de caña en forma libre o unida al tallo por medio de la yagua.



**Yagua o vaina:** es la parte de la hoja que recubre los entrenudos del tallo.



**Lala:** brote que resulta de la germinación de las yemas laterales de la caña al morir el meristemo apical. Se produce principalmente por cosechas tardías, uso de maduradores, floración o daño mecánico.



**Caña seca:** tallos de caña rajados o quebrados, bajos en humedad (deshidratados).



**Maleza:** cualquier material vegetal extraño identificable diferente a los definidos para la caña de azúcar.



**Cepa:** parte subterránea de la caña de azúcar con sus respectivas raíces y tierra. Por la dificultad de separar el suelo del material vegetal, todo en su conjunto se denomina cepa y hace parte del componente mineral de la materia extraña.



**Arena, suelo y rocas:** componentes de la materia extraña mineral que se incrementan por las lluvias y topografía de los terrenos.



**Caña recuperada o repique:** caña que ha quedado en el campo después de haber sido cosechada una suerte. Normalmente entra en días posteriores a la cosecha de dicho lote.



## Equipos y materiales

- Equipos de muestreo disponibles en las fábricas del sector: *core sampler* y uña hidráulica.
- Báscula, cuya capacidad depende de la cantidad de muestra tomada por el ingenio.
- Balanza digital.
- Mesa de clasificación; el tamaño depende del método de muestreo.
- Equipo de cómputo.
- Otros requeridos en el ingenio según el método de muestreo.

- **Core sampler:** sonda con panel de control; la muestra colectada se deposita en canecas, recipientes o lonas para determinar su peso.
- **Uña hidráulica:** en algunos ingenios, la uña tiene incorporada una celda de carga; en otros, la muestra es depositada en una plataforma con báscula integrada. En la plataforma se separan los componentes y se registra su peso.

## Elementos de protección personal

Cada ingenio tiene establecida cuál es la dotación y cuáles los elementos de seguridad por utilizar durante la evaluación, como guantes, gafas, botas de seguridad, entre otros.

## Procedimiento de evaluación

Las siguientes actividades se realizan de acuerdo con el procedimiento interno establecido por cada ingenio. Algunos ingenios primero realizan el muestreo de los trenes y posteriormente su pesaje.

1. Ingreso y pesaje del tren de vagones.
2. Selección aleatoria de un vagón de muestreo.

Cada ingenio puede cambiar la configuración de muestreo de acuerdo con sus necesidades, garantizando el nivel de confianza (80% *core sampler* y 70% uñada) y el límite de error estándar ( $\pm 0.65$  *core sampler* y  $\pm 0.80$  uñada) definidos en consenso.

3. Toma de la muestra y su pesaje.
4. Separación de los componentes de la muestra.
5. Clasificación y pesaje de los componentes.



Descripción de procesos con *core sampler* y uñada.



Guía ilustrada para la separación de los componentes de la materia extraña.



Si el ingenio requiere identificar y reportar cada componente por separado, se acordó en el consenso realizar la clasificación y el pesaje de la siguiente forma:

Materia extraña vegetal: • Cogollos • Caña seca • Lalas • Hojas (incluye yaguas y hojas verdes y secas) • Maleza • Chulquines de longitud menor o igual que 1 metro (sólo en cosecha manual).

Materia extraña mineral: • Suelo • Rocas • Cepas.



## Evaluación de la materia extraña en la fábrica

### Muestreo con *core sampler*

- Ingreso y pesaje del tren.
- Selección aleatoria de un vagón por tren.

01

El operario del *core sampler* toma una muestra de caña del vagón y la deposita en un recipiente o lona.



- Introducir la sonda al vagón con un ángulo de 45°
- Controlar el peso de la muestra: 10-15 kg



02

El analista de materia extraña lleva la muestra a la balanza para determinar el peso inicial.



03

En el sitio de evaluación, el analista identifica, separa y agrupa la materia extraña vegetal y la materia extraña mineral. Se recomienda usar una rejilla metálica de varillas paralelas, distanciadas entre 1.0-1.5 cm, para facilitar la separación de la materia extraña mineral.



**Tallos molinables:**  
Tallos • Chulquines

**Materia extraña vegetal:**  
Cogollos • Caña seca • Lajas  
• Hojas verdes • Hojas secas  
• Yaguas • Maleza

**Materia extraña mineral:**  
Suelo • Rocas • Cepas

04

Finalmente, la materia extraña separada se pesa en balanzas y se registra la información.





## Evaluación de la materia extraña en la fábrica

### Muestreo con ñada

- Ingreso y pesaje del tren.
- Selección aleatoria de un vagón por tren.



Controlar el peso de la muestra según el sistema de cosecha:

Manual: 110-150 kg  
Mecanizada: 80-100 kg



01

El operario de la ña o *grab* toma una muestra de caña del vagón y la deposita en una plataforma de pesaje.



02

En la plataforma de pesaje, el analista de materia extraña registra el peso inicial de la muestra, identifica sus componentes y separa la materia extraña vegetal y la materia extraña mineral.



Sigue el QR y mira los videos del procedimiento de evaluación de evaluación con *core sampler* y ñada.

03

Finalmente, la materia extraña separada se pesa y se registra la información.



Tallos molinables:

Tallos • Chulquines de longitud mayor que 1 metro

Materia extraña vegetal:

Cogollos • Caña seca • Lajas • Hojas verdes • Hojas secas • Yaguas • Maleza • Chulquines (menor o igual que 1 metro)

Materia extraña mineral:

Suelo • Rocas • Cepas



## Registro y reporte de resultados

Aunque en el registro de los resultados se indica el porcentaje de materia extraña como un valor absoluto, es necesario tener en cuenta que la materia extraña estimada con cada método de muestreo tiene un límite de error definido por consenso, así:

- *Core sampler*: % materia extraña total obtenido  $\pm 0.65$
- Uñada: % materia extraña total obtenido  $\pm 0.80$

De acuerdo con lo anterior, en la observación de los datos se debe considerar que, por ejemplo, si el valor de materia extraña total fue de 10%, su valor está en el rango de 9.4% a 10.6% en *core sampler* o en el rango de 9.2% a 10.8% en uñada.

### Reporte interno

Reportar en el sistema establecido por el ingenio los resultados de cada evaluación.

- Sin separación de componentes: porcentaje (en peso) de la materia extraña total, la materia extraña vegetal y la materia extraña mineral.
- Con separación de componentes: porcentaje (en peso) de la materia extraña total, de cada componente (ver punto 5 del Procedimiento de evaluación) y los totales de materia extraña vegetal y materia extraña mineral.
- La materia extraña tanto por día y por suerte se calculará como el promedio ponderado de las toneladas de caña ingresadas y los respectivos valores obtenidos durante los muestreos.

### Reporte a Cenicaña

Cada ingenio reportará mensualmente a Cenicaña los resultados totales de materia extraña vegetal, materia extraña mineral y materia extraña total para cada sistema de cosecha. En caso de que el ingenio realice alguna modificación que afecte el límite de error y el nivel de confianza establecidos, se debe notificar a Cenicaña al momento de reportar los resultados.

## En caso de datos atípicos

Cada ingenio ha definido sus propios niveles de alerta para identificar los valores atípicos en la determinación de los porcentajes de la materia extraña. Por lo tanto es posible que el ingenio decida realizar un segundo muestreo del mismo vagón de transporte de caña cuando se registran valores atípicos en el primer evento de muestreo. Dado que la variabilidad de la materia extraña dentro de un vagón de transporte es significativa, debe tenerse claro que los datos que arroje el primer muestreo del vagón son tan válidos como si se realizara un nuevo muestreo dentro del mismo, así estos nuevos valores sean muy diferentes a los primeros. Es decir, los dos resultados pueden darse, son válidos y como tales deben reportarse.

Cuando uno de los dos valores obtenidos supera los niveles de alerta definidos por el ingenio, éste debe tomar acciones en la operación de cosecha para minimizar los contenidos de materia extraña.

## Muestreo de brechas y repique

Cenicaña recomienda evaluar la materia extraña en estos dos escenarios siguiendo el procedimiento antes indicado, dado que se trata de una materia prima que ingresa a la fábrica. Sin embargo, tanto los indicadores o niveles de alerta como su monitoreo y control deben ser definidos por cada ingenio y no deberían ser los mismos que para la materia prima proveniente de la cosecha en condición estable.





Analistas de materia extraña  
evaluando muestras tomadas  
con *core sampler* (arriba)  
y con ñada (abajo).

unidad

# 03

Guía ilustrada para  
la separación de los  
componentes de la  
materia extraña



.....

## Alcance

En esta guía se identifican y definen los componentes asociados a la materia extraña vegetal y mineral, se presenta su clasificación de acuerdo con el sistema de muestreo y se dan unos lineamientos prácticos para la separación de tales componentes en las estaciones de materia extraña de los ingenios.

## Lineamientos para la separación de componentes

Luego de tomar la muestra del vagón de transporte se procede a separar los componentes de la materia extraña. En esta etapa pueden suceder dos cosas:

- 1 Se encuentran componentes individuales que son fácilmente clasificables.
- 2 Se encuentran componentes adheridos a otros.

A continuación se presentan ejemplos de algunos componentes que pueden encontrarse en los muestreos, y se dan los lineamientos definidos en el sector para su correcta separación y cuantificación.

### Para cosecha manual:

Todo componente de materia extraña adherido al tallo debe ser separado (hojas, yaguas, cepas, lalas, cogollos).

El cogollo adherido al tallo se debe separar en el punto natural de quiebre.



La adecuada identificación y separación de los componentes es fundamental en la evaluación de la materia extraña que ingresa a la fábrica. Seguir los lineamientos establecidos en colaboración con el sector nos brinda la confianza necesaria en los resultados entregados.



Componentes catalogados como  
**Tallos**



Ejemplos de tallos muestreados  
con *core sampler*.



Componentes catalogados como  
**Yaguas**



Componentes catalogados como  
**Cogollos**

Vista superior

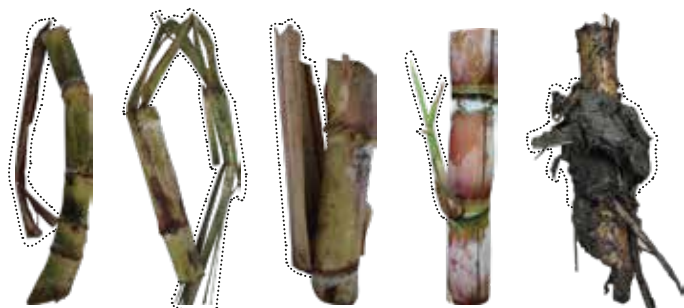


Ejemplos de cogollos muestreados  
con *core sampler*.

Componentes catalogados como  
**Cepas**



Algunos componentes se encuentran unidos y deben separarse físicamente antes de clasificarse



Hoja seca

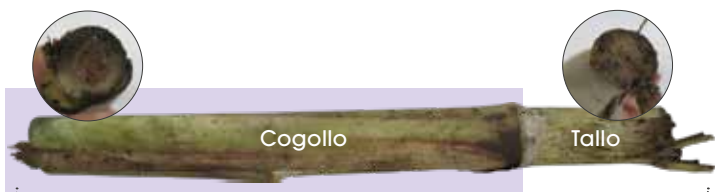
Hoja verde

Yagua

Lalas

Suelo, barro

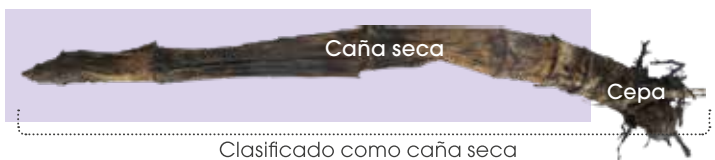
Otros componentes se clasifican de acuerdo con su proporción y no deben separarse físicamente



Cogollo

Tallo

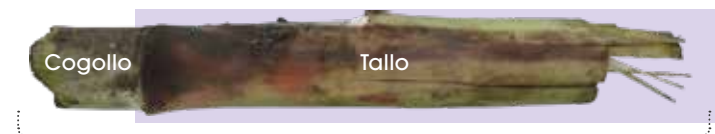
Clasificado como cogollo



Caña seca

Cepa

Clasificado como caña seca



Cogollo

Tallo

Clasificado como tallo

anexo

# A1

Recursos para  
capacitación  
y transferencia  
de conocimientos



## Recursos para capacitación y transferencia de conocimientos

Debido a la importancia de transferir el conocimiento y la experiencia adquiridos durante este plan de trabajo de estandarización, al igual que la metodología para el análisis de la materia extraña en la fábrica, es aconsejable realizar capacitaciones al personal nuevo y antiguo para ayudarlo a desarrollar y fortalecer las competencias claves para llevar a cabo de manera sencilla y eficiente esta operación.

Los recursos didácticos se componen de los siguientes materiales:

	<p><b>Diagnóstico del sector</b></p> <p>Resultados de la encuesta acerca de las metodologías utilizadas para el análisis de la materia extraña en 12 ingenios, marzo-abril 2021.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalidades</li> <li>• Equipos</li> <li>• Muestreo</li> <li>• Cuantificación materia extraña</li> <li>• Valores de alerta</li> <li>• Indicadores materia extraña.</li> </ul>
<p>pdf diapositivas</p>	
	<p><b>Recorrido por las estaciones de materia extraña de los ingenios</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carmelita</li> <li>• Incauca</li> <li>• La Cabaña</li> <li>• Manuelita</li> <li>• María Luisa</li> <li>• Mayagüez</li> <li>• Pichichí</li> <li>• Providencia</li> <li>• Risaralda</li> <li>• Riopaila-Castilla</li> <li>• Sancarlos.</li> </ul>
<p>video 1: core sampler video 2: ñnada</p>	

	<p><b>Análisis estadístico de datos 2020</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Representatividad del muestreo</li> <li>• Distribución de la materia extraña en cosecha manual y mecanizada</li> <li>• Componentes</li> <li>• Comportamiento por trimestre</li> <li>• Relaciones entre materia extraña, sacarosa y rendimiento</li> <li>• Efectos en la calidad de la caña.</li> </ul>
<p>pdf diapositivas</p>	
	<p><b>Cómo usar el simulador de configuraciones de muestreo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrucciones de uso</li> <li>• Core sampler y ñnada</li> <li>• Base de datos</li> <li>• Criterios</li> <li>• Simulación.</li> </ul>
<p>Video navegación Excel</p>	
	<p><b>Simulador de configuraciones de muestreo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar: nivel de confianza, límite de error, porcentaje de trenes a muestrear (por día o suerte) y número de vagones promedio por tren, vagones a muestrear por tren, profundidades y largos a simular</li> <li>• Visualizar: configuraciones de muestreo que cumplen con el nivel de confianza y el límite de error definidos.</li> </ul>
<p>base de datos Excel</p>	
	<p><b>Componentes de la materia extraña en la caña cosechada. Jesús E. Larrahondo (2005)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qué es la materia extraña</li> <li>• Qué efectos tiene</li> <li>• Qué comprende</li> <li>• Cuáles son los métodos de evaluación.</li> </ul>
<p>pdf artículo</p>	





video 1: core sampler  
video 2: uñada

#### Procedimiento de evaluación de la materia extraña según el método de muestreo: *core sampler* y uñada

- Demostraciones de las labores de evaluación
- Muestreo
- Identificación de componentes
- Separación
- Clasificación
- Pesaje.



pdf  
diapositivas

#### Metodología de evaluación de materia extraña

- Proceso de estandarización
- Acuerdos del sector
- Definiciones
- Lineamientos para la identificación y la separación de componentes.

#### Metodología de evaluación de la materia extraña en la fábrica. Manual de estandarización y guía ilustrada.

- Proceso de estandarización, paradas y acuerdos
- Metodología de evaluación
- Guía ilustrada para la separación de la materia extraña.

pdf  
manual

#### Guía ilustrada para la separación de los componentes de la materia extraña.

- Alcance
- Preguntas iniciales
- Definiciones
- Orientaciones
- Autoevaluación final.

pdf  
cartilla de bolsillo

anexo

# A2

## Mención de colaboradores y galería de fotos





## Mención de colaboradores y galería de fotos

Como lo muestran las fotografías que documentan este manual de estandarización, la colaboración en el proceso adelantado en los tres últimos años ha sido nutrida con la participación de los ingenios y Cenicaña. Destacamos a los colaboradores con mayor interacción durante el periodo 2021-2023.

Entidad	Colaborador
Carmelita	Clarita Gallego
	Joaquín Parra
	Carlos Osorio
Castilla	Andrés Corrales
	Beatriz Bravo
	Diana Marcela Almiro
	Wilmer Pacichana
Cenicaña	Nicolás Javier Gil
	Samuel Galeano
	Héctor Chica
	José Fernando Giraldo
	Daniela Valderrama
Incauca	Amalfi Otero Luna
	Fanny Mina
	James Jurado
	María Camila Cardozo
	Andrés Estacio
La Cabaña	Juan Carlos Rosero
	Miguel Córdoba
	Héctor Fabio Riascos

Entidad	Colaborador
Manuelita	Carlos Escobar
	Roosember Polanco
María Luisa	Jorge Caicedo
	José Hoover Salazar
	Oscar Figueroa
Mayagüez	Natalia Alarcón
	Ricardo Rojas
	Ricaurte Larrahondo
	Miguel José Cabal
Pichichí	Erika Benavides
	José Francisco Arizabaleta
Providencia	Diego Reyes
	Henry Ramos
	Juan Felipe Cano
	Martin Lasprilla
	Sandra Benavides
Riopaila	Beatriz Gonzales
	Juan David Montaña
	Julián Andrés Bolívar
Risaralda	Arles de Jesús Romero
	Olga Bermeo
	Erik Rodríguez
Sancarlos	José Manuel Bolívar
	Ana Milena Escobar
	Jairo Giraldo Zuluaga
	Paula Tascón
	Fabian Duque





Benchmarking entre ingenios (Incauca, 2022).



Encuentros de líderes de calidad y de cosecha de los ingenios (Cenicaja, 2023).



Encuentros de líderes de calidad y de cosecha de los ingenios (Cenicaja, 2023).



Analistas de la estación de materia extraña del ingenio Manuelita.





Estudio de la variabilidad de la materia extraña en el muestreo con uñada (Carmelita, 2023).



Benchmarking entre ingenios (Castilla, 2022).



Actividad de separación de componentes de la materia extraña (Cenicaña, 2021).

-----

## Referencias

- Gómez, A, et al (2012, 12-14 de septiembre). *Efectos del aumento de los niveles de residuos agrícolas en caña cosechada en forma mecanizada sobre la calidad de la materia prima y el desempeño fabril*. (Ponencia). VIII Congreso de la Asociación Azucareros de Latinoamérica y el Caribe y IX Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar. Cali, Colombia. pp. 345-356
- Larrahondo, J. E. (1995). Calidad de la caña de azúcar. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cenicaña. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 337-354)
- Larrahondo, J. E. (2005). Componentes de la materia extraña en la caña cosechada. *Carta Trimestral*, 27, (3-4), pp. 12-15
- Lucuara, J., Orduz, S., Daza, Z., Gil, N. & Imbachí, S. (2015, 12-14 de septiembre). *Impacto del incremento de la materia extraña sobre la calidad de los materiales y la eficiencia del proceso*. (Ponencia). X Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar. Cali, Colombia. p. 47.
- Oviedo, M. & Chaves, M. (2003, 3-5 de septiembre). *Determinación de la cantidad y calidad de la materia extraña presente en las entregas comerciales de caña de azúcar (Saccharum spp) en el ingenio La Argentina, Grecia, Costa Rica*. (Ponencia). Congreso ATACORI, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. pp. 183-189



## AUTORES

**María Alejandra Gómez, Química Industrial, M.Eng .**

Química Industrial egresada de la Universidad Tecnológica de Pereira (2010), con maestría en Ingeniería con énfasis en Calidad y Productividad del Tecnológico de Monterrey (2018). Con amplia experiencia profesional en la administración de áreas de calidad y mejoramiento de procesos en el sector agroindustrial y consumo masivo. Vinculada desde el año 2020 como investigadora en el Programa de Procesos de Fábrica del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia liderando el proyecto de Calidad de caña, el cual busca estandarización de metodologías para la evaluación de la materia prima que ingresa a la fábrica, la cuantificación de las pérdidas de sacarosa entre corte y molienda y estrategias de disminución. Desde el 2023 ejerce la coordinación de los laboratorios de servicio: Laboratorio de análisis de caña, Laboratorio de cromatografía y Laboratorio de suelos y tejido foliar.

**Diana Milena Méndez Quintero, Química**

Química egresada en 2021 de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Vinculada desde el año 2022 al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, Cenicaña, en el proyecto de investigación Calidad de caña del Programa de Procesos de Fábrica. Las principales áreas de trabajo incluyen el aseguramiento de la calidad y confiabilidad de la información obtenida a través de la estandarización de metodologías en el sector, tales como la evaluación de materia extraña y el análisis directo de caña. Participa en la planeación y ejecución de estudios interlaboratorio de análisis fisicoquímicos en producto terminado en el sector y en las actividades relacionadas con la cuantificación de las pérdidas de sacarosa en campo.

**Alejandro Estrada Bedón, Ingeniero Agroindustrial, M.Eng .**

Ingeniero Agroindustrial con maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial. Egresado en 2004 de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, y en 2009 de la Universidad del Valle, sede Cali. Vinculado desde 2008 como ingeniero investigador en el proyecto Corte, alce, transporte y entrega de caña a la fábrica - Proyecto CATE, Cenicaña, donde trabaja en estudios y caracterización en tiempos y movimientos en el sistema corte, alce, transporte y entrega de caña, apoyo en los procesos de desarrollo de nuevos equipos para la cosecha y el transporte, optimización de la cadena de abastecimiento de caña en los ingenios y estimación económica de las diferentes actividades del sistema de cosecha y transporte de caña.

Coordinación editorial  
Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia  
de Tecnología, Cenicaña

Corrección de textos  
Ernesto Fernández Riva, Victoria Carrillo Camacho

Fotografías  
María Alejandra Gómez Duque, Diana Milena Méndez Quintero

Diseño gráfico y editorial  
Taraan Espacio Creativo

Finalización de artes  
Alcira Arias Villegas