

#### Amú Caicedo, Luis Guillermo

Cosecha y transporte de la caña de azúcar / Luis Guillermo Amú Caicedo;
Alejandro Estrada Bedón, Luis Armando Abadía, Samuel Andrés Galeano
Patiño, Héctor Alberto Chica Ramírez, Henrry Bladimir Tarapués Ipial.
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed.) -- Cali:
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2023.

32 p. (Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN

1. Caña de azúcar. 2. Maduración. 3. Productos químicos agrícolas.

I. Estrada Bedón, Alejandro II. Abadía, Luis Armando. III. Galeano Patiño, Samuel Andrés. I V. Chica Ramírez, Héctor Alberto. V. Tarapués Ipial, Henrry Bladimir. VI. Título. VII. Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia

633.61 CDD 23 ed. AM529

Cenicaña – Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

#### Cenicaña © 2023

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

Calle 38 norte No. 3CN-75. Cali, Valle del Cauca, Colombia

Estación experimental: San Antonio de los Caballeros, vía Cali-Florida km 26

www.cenicana.org

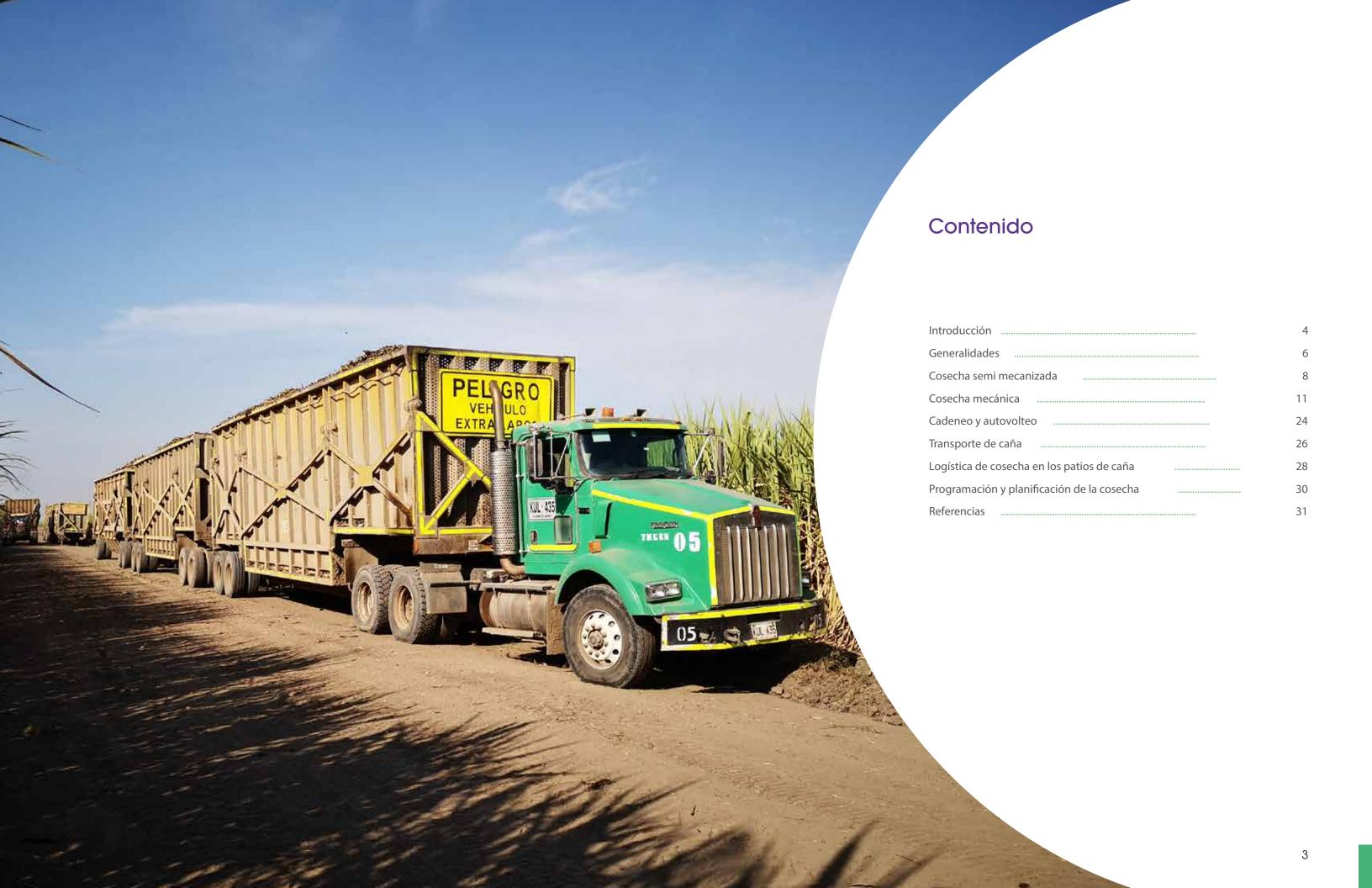
Producción editorial: Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología Coordinación editorial: Victoria Carrillo C. Corrección de textos: Ernesto Fernández R. Diseño e ilustración: Alcira Arias V.

#### Cita bibliográfica

Amú Caicedo, L. G. et al. (2023). Cosecha y transporte de la caña de azúcar. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed). Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia. Cenicaña.

# Cosecha y transporte de la caña de azúcar

Luis Guillermo Amú Caicedo
Alejandro Estrada Bedón
Luis Armando Abadía
Samuel Andrés Galeano Patiño
Héctor Alberto Chica Ramírez
Henrry Bladimir Tarapues Ipial





### Introducción

La cosecha es una etapa clave en el proceso agroindustrial de la caña de azúcar. Su objetivo es recolectar la caña disponible en el campo con mínimas pérdidas y alta eficiencia, y garantizar su suministro oportuno y suficiente a la fábrica en el menor tiempo posible entre cosecha y molienda, con bajos niveles de materias extrañas (especialmente hojas, cogollos y suelo) y al menor costo, procurando en todo el proceso minimizar su impacto sobre el suelo, el cultivo y el medio ambiente, todo lo cual se traduce en un producto de alta calidad y a precios competitivos. Su incidencia en los costos de producción es altamente significativa, pues cualquier variación que se registre en esta etapa tendrá gran impacto –positivo o negativo– en la rentabilidad del cultivo. Se comprende cabalmente, entonces, por qué la meta de todo ingenio es proveer caña a la fábrica en las condiciones de cantidad y calidad estipuladas, en los tiempos acordados y con el mejor aprovechamiento de los recursos empleados (Amú, 2010).

La cosecha de la caña de azúcar y su transporte a la fábrica para la produc ción de azúcar, alcohol carburante y energía eléctrica involucran la programación del corte, la recolección de la caña y su entrega en los patios del ingenio con las características de calidad requeridas.

La adecuada gestión de las actividades que demanda la cosecha es funda mental en la generación de valor para el cultivador y para el fabricante. El área de cosecha se divide en tres "áreas ": corte, alce y transporte, con unos recursos y una metodología definidos para cada uno (Isaacs et al., 2009).

La cosecha de la caña de azúcar ha evolucionado del corte y alce manuales a la operación semi mecanizada (corte manual y alce mecanizado) y al sistema totalmente mecanizado. En la actualidad los cultivos comerciales se cosechan utilizando los dos últimos sistemas: 26% semi mecanizado y 74% totalmen te mecánico. La cosecha semi mecanizada permite suministrar caña de azúcar constantemente a la fábrica en cantidad suficiente, con bajos contenidos de materia extraña; pero en cuanto a la cantidad de caña transportada por viaje su rendimiento es bajo. El sistema mecanizado, por el contrario, se traduce en un porcentaje notablemente mayor de caña transportada por viaje, con menor tiempo de permanencia en el campo y utiliza equipos más livianos para su trans bordo, pero su implementación requiere introducir costosas adaptaciones tanto en el campo como en la fábrica (Torres, Villegas, Durán y Cruz Valderrama, 2009).

Los ingenios azucareros de Colombia trabajan las veinticuatro horas del día durante todo el año, y por ello deben contar con un abastecimiento permanente de caña de azúcar, que proviene de cultivos sembrados en diferentes sitios ubi cados en un amplio rango de distancia (entre 2 km y 100 km) de la fábrica.

Ahora bien, la caña puede ser cortada manualmente o mecánicamente. El corte manual lo realiza un trabajador (el cortero) con un machete (la pacora o ma chete curvo australiano), con el que desprende los tallos de caña a ras de suelo, los descogolla (retira la parte superior de la caña) y los acomoda en haces (la 'chorra') que coloca en forma perpendicular a lo largo de los surcos. Esta opera ción requiere gran habilidad del responsable, pues un corte deficiente se traduce en pérdidas de caña y de azúcar, resulta en un jugo de mala calidad y entorpece la operación fabril, pues obliga a emplear más tiempo del previsto para retirar los elementos diferentes a la caña. Para el corte mecanizado se utiliza un equipo especial (la cosechadora) que ingresa al campo y entre los surcos corta la caña en trozos y los deposita directamente en los vagones (Amú, 2010).

Cosecha y transporte de la caña de azúcar Introducción

### Generalidades

Gracias a las condiciones de clima y suelo del valle del río Cauca la caña de azúcar se cosecha todo el año. Actualmente operan en la región ca torce ingenios que en 2022 cosecharon 182,620 hectáreas, 74% de ellas mecánicamente, y mo lieron 23,002,414 toneladas de caña. En 2021, debido a dificultades de orden público en la región, se cosecharon 168,547 hectáreas (-8.3% vs. 2022) y se molieron 22,872,450 toneladas de caña, con el mismo porcentaje de participación de la cosecha mecánica (Loaiza, D. 2023. Comu nicación personal). 1

La creciente adopción del sistema de corte mecanizado, que en menos de una década pasó del 30% al 70% del área cosechada en el valle del río Cauca, ha obligado a acelerar las consi guientes adaptaciones en campo y fábrica. En el campo, esto conllevó utilizar nuevos equipos de cosecha de manera eficiente e inteligente, que eviten daños al cultivo por pisoteo y permitan menores tiempos de cargue de los vagones de autovolteo y su transferencia a los vagones de transporte. A esto se suma un diseño de campo integral que abarca no sólo el manejo óptimo del agua (riego y drenaje), sino una logística eficiente de cosecha, así como la siembra con líneas de surco georreferenciadas, que permiten maximi zar el proceso del corte mecanizado con auto quiado.

En cuanto a la fábrica, en sus patios se dejó de apilar la caña para realizar aprontes, pues se detectó que las pérdidas de sacarosa en veinti

cuatro horas en los arrumes eran entre 7.5% y 11.4%, lo que equivale a 72 horas de almace namiento en vagones o equipos de transporte o a 120 horas de apilamiento en campo; es de cir, las pérdidas de sacarosa durante un día de permanencia en patios equivalen a las ocurridas durante cinco días de permanencia en campo (Larrahondo, 2002).

Una de las ventajas más notorias del corte mecánico frente al corte manual es la disminu ción del área de cultivo quemada año tras año a lo largo y ancho del valle del río Cauca, dado que dicha práctica buscaba solamente facilitar la labor de corte manual; y aunque hoy ha sido restringida y controlada por las autoridades am bientales, se presentan esporádicamente que mas o incendios que generan molestias en las comunidades vecinas, provocados de manera indiscriminada por actores ajenos al personal de los ingenios del sector. En el tercer trimes tre de 2022 se cosechaba en verde un 75% del área total cosechada en la agroindustria. La Figura 1 muestra la evolución de la adopción de esta práctica entre 2013 y 2022.

En la cosecha semi mecanizada los corteros cortan manualmente el tallo a ras del suelo y retiran el cogollo y las hojas cuando el corte es realizado en verde. La caña larga es dejada en chorras ordenadas sobre el suelo y posteriormente es recogida por máquinas alzadoras y depositada en los vagones de transporte.

Figura 1. Evolución del área cosechada en verde en la agroindustria (2013-2022).

Fuente: Los autores

1. Jefe de Gestión Ambiental. Asocaña (12-01-2023)

6 Cosecha y transporte de la caña de azúcar Generalidades

<sup>80</sup> 70 cosechada 60 50 área (%) Porcentaje del 30 20 10 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 Año Cosecha - Verde Cosecha - Quemada

### Cosecha semi mecanizada

#### Corte manual

Esta labor comprende el corte del tallo, la sepa ración del cogollo, la limpieza del tallo y la dis posición de la chorra en el suelo. La caña puede cortarse quemada o en verde. Para cortar la caña quemada el cortero ejecuta con el machete dos pases: uno para desprender la base de la caña y otro para desprender el cogollo. Luego coloca la caña cortada a lo largo de los surcos en chorras o montones alineados para ser alzada por uñas mecánica s. Un cortero puede cortar, en prome dio, entre 5 t y 6 t de caña por día (Asocaña, 2010) (Figura 2 ).

El corte de caña en verde puede ser sucio o limpio, y en el primer caso requiere al menos dos pases adicionales de limpieza para asegurar que se remuevan todas las hojas. Se arruma la caña en forma similar a la caña quemada. Por esta operación adicional el rendimiento del corte se reduce entre 2 t/día y 3 t/día por hombre (Aso caña, 2010).

En dos variedades evaluadas, en el corte en caña quemada se obtuvieron incrementos de la eficiencia del corte cercanos al 13%, lo que representa un aumento de 0.8 t/día por hombre en relación con el corte verde limpio ( Cuadro 1 ). (Morales et al., 2015).

En seguimientos hechos en 2021 y 2022 en un ingenio que realiza un 70% del corte manual - mente, se reportaron los siguientes resultados de eficiencia de esta operación en toneladas /hombre /día de las variedades con mayor proporción de siembra en el valle del río Cauca.



Figura 2. Chorra de caña, cortero o alce de caña.

8

Cuadro 1. Rendimiento promedio del cortero por modalidad y variedad.

Modalidad	Variedad	Rendimiento de corte (t/hombre/día)		
Caña verde	CC 93-4418	5.0 a		
	CC 85-92	3.0 b		
Caña quemada	CC 93-4418	7.3 a		
	CC 85-92	5.9 b		

\* Cifras seguidas por diferente letra significa que varían estadísticamente un 5%.

(Tomado de Morales, Chica, Arango y Restrepo, 2015)

En el corte manual se emplean tres tipos de machetes: machete australiano o curvo, machete bamba katana y machete tradicional. Elegir uno u otro depende de la preferencia del cortero, del tipo de caña a cortar (caída o erecta) y de las particulares exigencias de seguridad y calidad de corte de cada ingenio (Morales, Chica, Arango y Restrepo, 2015).

El éxito de una labor de corte manual de caña de azúcar depende de la programación anual de actividades, que debe ajustarse cada mes de acuerdo con el estado de maduración del culti - vo; así como de la variedad, de la eficiencia de la maquinaria y de la mano de obra y su dispo - nibilidad, y por supuesto, de las condiciones cli - máticas.

Un frente de corte manual lo integra el siguien te personal:

- Brechero: encargado de delimitar el área de trabajo de cada cortero.
- · Cortero: corta manualmente la caña.
- Monitor: responsable de indicar a los cor teros la forma de ejecutar su labor segura y eficientemente; y, además, de registrar en la planilla de cada cortero el total de caña cortada y en la planilla general el to tal del equipo de corte.
- Cabo de corte: controla la asistencia y vela por la disciplina en el frente de corte.
- Auxiliar de corte: vigila la actividad en va rios escenarios del frente.

#### Alce mecánico

Después del corte es necesario alzar la caña del suelo y cargarla en los vehículos que la transpor tarán, para lo cual se utiliza una máquina alzado ra provista de un brazo hidráulico.

El alce mecánico exige una mayor limpieza de la caña al ser cortada, ya que la máquina no dis crimina entre la caña y la materia extraña. Para ello el cortero debe retirar las hojas y el cogollo

Cuadro 2. Eficiencia del corte (toneladas/hombre/día) en variedades más sembradas en el valle del río Cauca.

Variedad	Tipo de corte	2021 t/hombre/día	2022 t/hombre/día	General t/hombre/día
CC 01-1940	Quemada	5.28	4.88	5.11
	Verde Limpio	2.65	2.80	2.76
CC 05-430	Quemada	5.98	5.50	5.78
	Verde Limpio	3.25	3.72	3.50

Fuente: Julián Molina, Jefe Depto. Cosecha Ingenio María Luisa



que puedan haber quedado debajo de la chorra; además, debe cuidar de colocar la chorra bien alineada y sobre el surco, con el fin de que la alzadora solo circule por las calles. El material retirado de la caña debe ser ubicado a un me tro de la línea de enchorre, lo cual se denomina 'despeje lateral'.

Esta actividad de limpieza es fundamental en la cosecha manual, y aunque implica un mayor costo permite la máxima eficiencia de la máquina alzadora al disminuir la cantidad de materia extraña y mejorar la operación de la uña de la alzadora, reducir los daños al cultivo por piso teo a la cepa y compactación del suelo y mermar las pérdidas de materia prima por mala operación (Abadía, 2010). Las modernas alzadoras han mostrado rendimientos mayores que 45 t/h, lo que ha permitido garantizar el abastecimiento permanente y suficiente de caña de azúcar a la fábrica (Figura 3).

La conformación de un frente de cosecha semi mecánico depende de la cuota de toneladas de caña que se le asigne al frente, de acuerdo con la distancia que medie entre el cultivo y la fábrica. Pero, en general, se conforma así:

Una o dos alzadoras. En el sector operan ac tualmente: Cameco SP2254, Cameco SP3000,

JD 2254, JD1850, Bell Matriarch Ulteco, Cane y Game). Pero las de mayor uso son las Came co 2254 y JD2254 (50 t/h) y la Bell Matriarch (35 t/h).

- Dos a cuatro tractores de cadeneo, con potencia entre 170 HP y 220 HP, rígidos o articulados. Los más utilizados son: John Deere, Case y Game. Los John Deere totalmente rígidos; los Case, rígidos y articulados y los Game, articulados.
- Vagones de transporte. Se utilizan actual mente HD12000 y HD20000, y en menor medida HD5000 donde aún se realiza el tiro directo con tractor a distancias míni mas de las fábricas, por vías internas o azucareras.
- Motoniveladora o tractor con pala (trasera o delantera), para tapar acequias.
- Una camabaja para traslados de la alza dora.
- Uno o dos dollys.
- Góndola taller y de señales o avisos.



Figura 3 . Alzadora de última generación.

El alce mecánico exige una mayor limpieza de la caña al ser cortada, ya que la máquina no discrimina entre la caña y la materia extraña.

Esta actividad de limpieza de la caña al ser cortada es fundamental en la cosecha manual, y aunque implica un mayor costo permite la máxima eficiencia de la máquina alzadora.

### Cosecha mecánica

En la cosecha mecánica una máquina autopro pulsada (la cosechadora) corta la caña en trozos y los descarga directamente en los vagones para su transporte al ingenio. Se introdujo en Colom bia en 1982, cuando el ingenio Providencia pro bó cuatro cosechadoras-trozadoras Claas R.C 1400; posteriormente, Cenicaña y los ingenios Manuelita e Incauca evaluaron una combinada Versatile Toft 6000, en ambos casos con media nos resultados. Solo en 1992 el ingenio Manuelita obtuvo resultados aceptables con este sistema, utilizando una cosechadora Cameco CH. 2000, que alcanzó a trozar entre 15 y 20 toneladas de caña por hora, con un contenido de materia ex traña de 8.5% en época seca y 12% en época de lluvia (Giraldo, 1995).

En 2022 se cosechó mecánicamente en Co lombia el 74% del área sembrada, lo que indica que ha habido una evolución notable en el de sarrollo de las máquinas cosechadoras y un ma yor conocimiento de la agroindustria sobre los factores técnicos que inciden en la eficiencia del

sistema, lo cual ha permitido controlar las varia bles críticas del proceso para lograr disminuir el porcentaje de materia extraña hasta un 9% y obtener un rendimiento mayor que 27 t/h. Las cosechadoras utilizadas para esta labor en Colombia son de marca CASE y John Deere (Figura 4). Comúnmente, en este sistema un frente de cosecha se conforma así:

- 2 a 3 cosechadoras (John Deere o Case ), según la necesidad del frente.
- 3 a 6 tractores rígidos o articulados (John Deere, Case, Game ).
- 1 o 2 vagones de autovolteo por tractor (vagones de bajo peso con capacidad de 8 t a 10 t).
- · Camabaja.
- Góndola taller y de señales o avisos.

Para ambos tipos de cosecha se requieren en tre una y cuatro tractomulas según la distancia, con una potencia media de 450 HP y alimenta das por diesel o gas ( Figura 5 ).



Figura 4. Cosechadora de caña.

Cosecha y transporte de la caña de azúcar

Cosecha mecánica



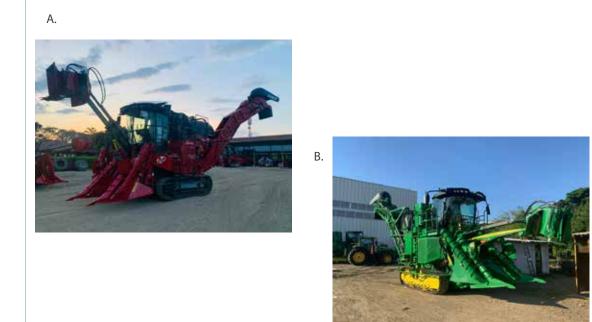


Figura 5. Cosechadoras mecánicas de caña de azúcar: (A) CASE 9900, (B) John Deere CH570.

# Cosechadora mecánica de caña de azúcar

Es una m áquina agrícola que efectúa la labor de corte basal, troceado, limpieza y cargue de la caña de az úcar. Sus diferentes mecanismos permiten descogollar, alimentar y cortar la caña a ras de suelo para luego llevarla a la cámara de troceado o picado, y con dos ventiladores re tirar la materia extraña vegetal; asimismo, permi te cargar los vagones por medio de un conductor de caña basado en un sistema de tablillas.

Consta la máquina de un motor diésel de alta potencia que, por medio de una transmisión, mueve un conjunto de bombas hidráulicas que a su vez transforman la energía hidráulica en energía mecánica mediante motores igualmente hidráulicos controlados electr ónicamente.

El trabajo realizado es optimizado con siste - mas informáticos que indican el nivel de eficiencia de la máquina ( Figura 6 ).

# Sistemas fundamentales de una cosechadora de caña

1. Sistema de alimentación y corte basal de la caña

Los diferentes mecanismos de este sistema per miten a la cosechadora alimentar la cortadora de base con caña limpia de cogollos, en la cantidad justa y en el tiempo requerido por la velocidad de avance del equipo.

Descogollador. Con cuchillas montadas en un tambor rotativo, la cosechadora corta y retira los cogollos o partes superiores de los tallos, cuyo contenido de sacarosa es muy bajo. El descogollador consta de los siguien tes componentes: tambor colector porta cuchillas, discos apiladores o recogedores de cogollos, motores hidráulicos y tándem de cuchillería (Figura 7).

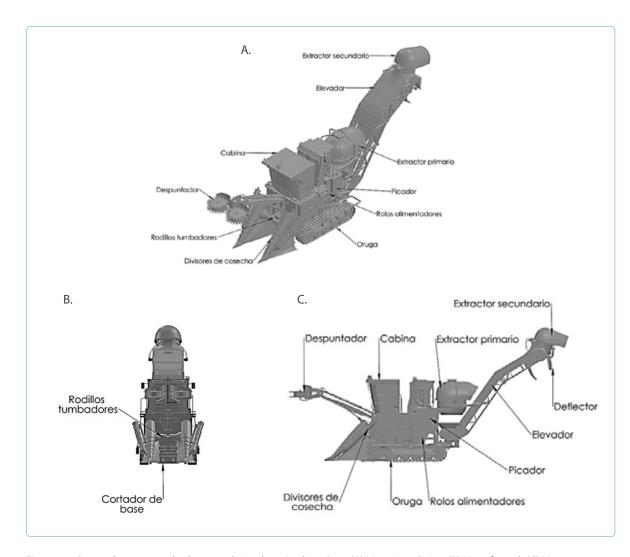


Figura 6. Partes de una cosechadora mecánica de caña de azúcar: (A) Vista isométrica, (B) Vista frontal, (C) Vista lateral.

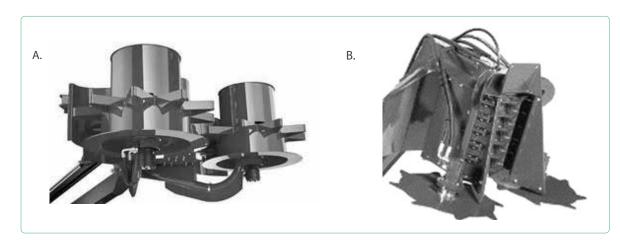


Figura 7. Tipos de cortador de puntas: (A) Despuntador, (B) Triturador.

12 Cosecha y transporte de la caña de azúcar Cosecha mecánica



- Divisores de cosecha. Alimentan la cor tadora de base actuando como tornillos sinfín de forma cónica. Los divisores in teriores alimentan la cortadora de base y los divisores laterales despejan la caña del surco adyacente. La altura y el ángulo de am bos los ajusta el operador de la máquina. Los zapatos patines con puntera recogen la caña que ha caído sobre la calle de riego (entre surco). Su contacto excesivo con el suelo aumenta el nivel de materia extraña mine ral que llega al molino. Estos divisores son accionados con extensiones de cilindros hidráulicos, e incluyen los siguientes com ponentes: zapatos o patines laterales, pun teras de dichos zapatos de diferentes án gulos y forma de ataque, tornillos sinf ín de diferente giro y zapatas flotantes laterales (Figura 8).
- Rolo tumbador. Permite, según su posición, colocar en ángulo de corte los tallos de caña de acuerdo con su porte. Esto alimenta la cosechadora con caña de forma debida para que la cortadora de base la corte con sus cuchillas sin causarle daño por astillamiento o aplastamiento. La posición la determina el operador. Una mala operación ocasiona atascamientos previos en la cortadora y daños a la caña por golpes mecánicos producto de una alimentación irregular (Figura 9).
- Cortadora de base. Su función es cortar los tallos de caña separándolos de su raíz hasta una altura máxima de cinco centímetros, ejecutando para ello un movimiento circular en contrasentido de cada disco. El sistema incluye:cortador de base, láminas deflectoras de alimentación, discos , cuchillas y piernas o torres del cortador de base; láminas laterales de piernas (peines) y rolo pateador.
  - El cortador de base puede girar, en prome dio, a unas 610 rpm, movido por un motor hidráulico que transmite a su vez el movimiento por medio de un sistema de piñones.

    La máquina impulsa la caña cortada apoya

- da por los discos y los peines acoplados a las dos torres portadiscos. Sus diez cuchillas son reemplazables para asegurar un óptimo corte del tallo en la parte más baja ( Figura 10).
- Rolo pateador. Impulsa los tallos cortados hacia los rolos alimentadores. Esta acción permite también sacudir los tallos para hacer caer la tierra que pueda haberse adherido a ellos en el momento del corte de base. Los ángulos pueden fijarse en función de la altura y la condición del lomo del surco (camellón) (Figura 11).
- Rolos transportadores alimentadores.
   Conjunto de rodillos fijos y basculantes que dirigen la caña larga hacia la cámara del pica dor, donde dos rolos o tambores provistos de cuatro cuchillas de 65 cm o 95 cm trozan la caña de forma estándar o diferencial a un tamaño seleccionado por el operador. Los rolos giran a una velocidad periférica media de 125 m/min a 130 m/min, a unas 180 rpm con tambores de 22 mc de diámetro. Con sus crestas los rolos deshojan y rascan la caña para que llegue lo más limpia posible al picador.

La capacidad de tragado de la máquina está definida por su abertura en el sistema de rolos. Velocidades de avance excesivas de la máquina generan atascamientos, reprocesos y desperdicio de caña. Los rolos fijos están ubicados en la parte inferior del chas ís y los rolos flotantes se encuentran en su sector superior, es decir, encima de los fijos, lo que permite el paso del flujo de caña (Figura 12).

Los mecanismos del sistema de alimentación y corte basal de la caña permiten a la cosechadora alimentar la cortadora de base con caña limpia de cogollos, en la cantidad justa y en el tiempo requerido por la velocidad de avance del equipo.

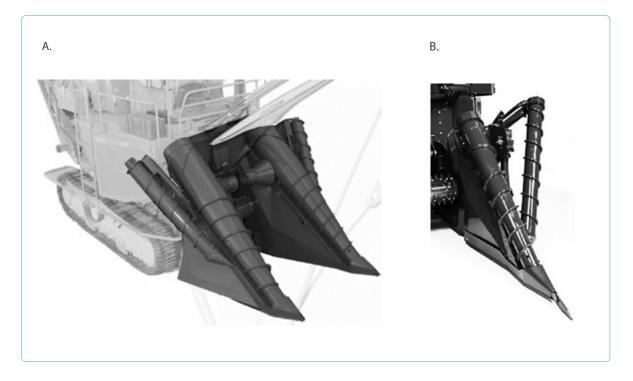


Figura 8 . Sistema de recolección: (A) Ubicación del sistema, (B) Divisor de línea o cosecha.

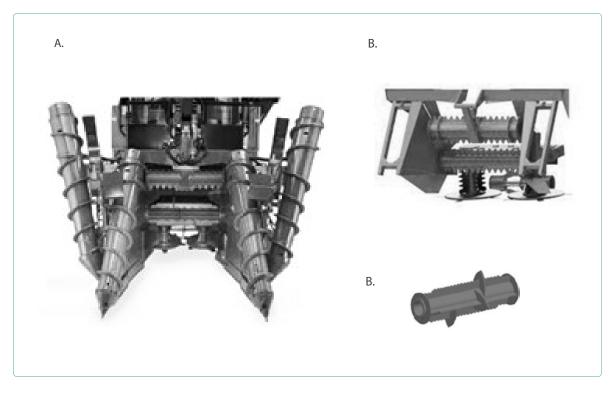


Figura 9. Sistema de recolección: (A) Ubicación del sistema, (B) Ubicación de los rolos tumbadores, (C) Rolo tumbador.

14 Cosecha y transporte de la caña de azúcar Cosecha mecánica



16

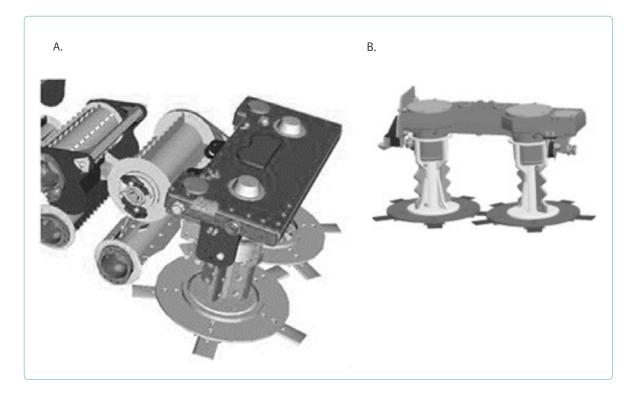


Figura 10. Sistema cortador de base: (A) Ubicación del sistema, (B) Cortador de base.

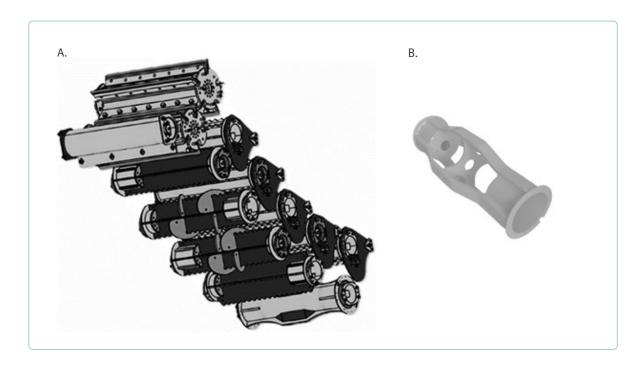


Figura 11 . Sistema de transporte y picado: (A) Ubicación del rolo pateador, (B) Configuración del rolo pateador.

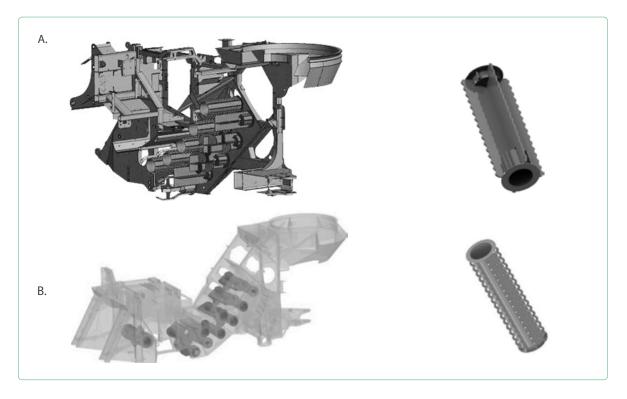


Figura 12. Tren de rodillos alimentadores: (A) M áquina John Deere CH570, (B) Máquina Case 8810.

### 2. Sistema de picado o troceado de la caña

Este sistema permite a la máquina picar o tro cear la caña al tamaño ideal seleccionado por el operador, lo que se conoce como 'corte tipo tije ra', de tal forma que el trozo no se afecte, dañe o deteriore antes de ser molido, con lo cual se aprovecha mejor su contenido de sacarosa. Para ello está provisto de rolos portacuchillas, que han ido aumentando con el tiempo, y en la actualidad se encuentran m áquinas con 6, 8 y 10 cuchillas.

Los componentes del sistema deben tratarse de forma integral, pues la calidad del troceado no depende exclusivamente del filo de la cuchilla picadora. El mecanismo se compone de: rolo su perior y rolo inferior, caja de transmisión, volante de inercia, cuchillas de troceado, mordazas de sujeción, cámara del picador y láminas deflectoras y lanzadoras.

Las cuchillas cortan la caña y las hojas, lo que permite al extractor sacar la basura de manera eficiente. El sincronismo del sistema debe revisarse diariamente para garantizar la calidad de la caña de azúcar que se entrega al molino. El cui dado básico del sistema consiste en el cambio oportuno de las cuchillas, en el ajuste del sistema mecánico y en la limpieza y el aseo oportunos de toda la cámara de picado durante la operación y después de ella (Figura 13).

Mordazas de sujeción. Son piezas metáli cas claves que soportan contra el tambor los
esfuerzos a que son sometidas las cuchillas
en el momento del golpe que implica el cor
te de la caña. Conservar en buen estado las
mordazas conlleva mantener el sincronismo
con el sistema picador para evitar fallas en la
calidad del picado.

Las láminas de caucho o lona denominadas 'lanzadoras' tienen la función de impulsar los trozos de caña cuando el tallo es picado con las cuchillas.

Cosecha y transporte de la caña de azúcar



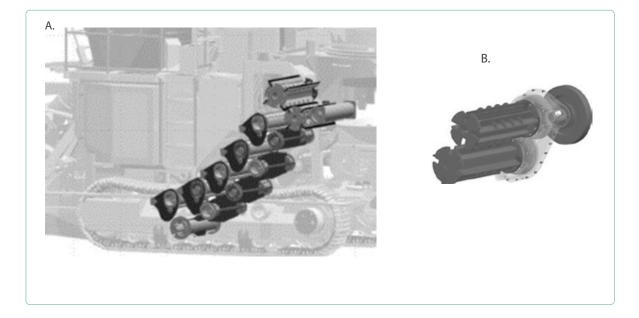


Figura 13. Sistema de transporte y picado: (A) Ubicación del sistema, (B) Trozador de caña.

El sistema de picado o troceado de la caña permite a la máquina picar o trocear la caña al tamaño ideal seleccionado por el operador, lo que se conoce como 'corte tipo tijera', de tal forma que el trozo no se afecte, dañe o deteriore antes de ser molido, con lo cual se aprovecha mejor su contenido de sacarosa.

### 3. Sistema de limpieza de la caña

Consiste en dos ventiladores, uno principal y otro secundario, mediante los cuales la cosechadora separa en pequeños gránulos la materia extraña vegetal y mineral y los expulsa.

Las revoluciones del ventilador principal de berán ajustarse en función de las toneladas de biomasa total del cultivo, con lo cual se evitar á que el extractor ventilador expulse por su capu chón trozos pequeños de caña que representan una pérdida y afectan las cifras de producción de caña por hectárea (TCH).

- Láminas deflectoras. Tienen tres posicio nes que permiten dirigir la corriente de aire para expulsar hacia el extractor las hojas pi cadas y demás elementos vegetales.
- Extractor primario. En máquinas comer ciales la cámara del extractor contiene un ventilador de cuatro aspas con cinco pies de lado a lado, lo que se traduce en un ciclo de corriente de aire más amplio y por tanto en mayor limpieza de material vegetal. El siste ma antiv órtex evita el desperdicio de aire y lo dirige a los lados, para que este torbellino no ascienda de forma vertical y directamen te por debajo de las aspas del ventilador. El sistema de extracción es accionado hidráu licamente y sus revoluciones pueden ser ajustadas para evitar que se expulsen trozos de caña livianos. Generalmente opera entre 900 rpm y 1050 rpm.
- Calota o esfera plástica de alta resisten
  cia. Distribuye el aire lateralmente para im
  pedir que se forme un torbellino en el interior
  de la cesta recolectora. El sistema de ex
  tracción no consiste solamente en el venti
  lador principal, pues consta además de una

cámara que aumenta la capacidad del ex tractor, que pasa de cuatro pies a cinco pies. También hacen parte del sistema las láminas direccionadoras de la corriente de aire y una gorra o capuchón metálico o de caucho por el que sale del extractor la basura.

 Extractor secundario. El extractor secun dario es un ventilador de apoyo para retirar directamente del elevador o conductor de caña los trozos de hojas que están por ser depositados en el vagón de llenado. Cons ta de tres aspas, generalmente de forma trapezoidal, que rotan a casi 1.600 rpm. La posición de este extractor, accionado hidráulicamente, puede girar hasta 360 gra dos del capuchón a voluntad del operador, y generalmente se ajusta a la dirección del viento en ese momento para evitar depositar trozos de hoja dentro del vagón (Figura 14).



Figura 14. (A) Sistema de limpieza de la caña, (B) Extractor primario, (C) Calota, (D) elevador, (E) Extractor secundario.

Cosecha mecánica

18 Cosecha y transporte de la caña de azúcar

### Sistema de entrega de caña al vagón

Su función es que la m áquina cosechadora pue da descargar la caña trozada al vagón, por medio de un conductor o equipo de llenado.

Este conductor o elevador sobrepasa los cua tro metros de altura en su punto de descarga al vagón, aunque viene equipado con láminas de alargue para un total de doce pulgadas más, con el fin de no golpear el conductor de tablillas con los bordes de los vagones. El piso o lámina del elevador por donde corre la caña arrastrada por veintitrés tablillas a paso de cuatro eslabones, está diseñado para cernir y filtrar la tierra desmenuzada y es movido hidráulicamente por dos motores de cabeza en la parte superior. Su ca denilla requiere estar tensada permanentemente para evitar paradas (Figura 15).



Figura 15. Sistema elevador: (A) Máquina John Deere CH570, (B) Máquina CASE 8810.

## Avances tecnológicos en las cosechadoras de última generación

En 2022, la nueva generación de máquinas cose chadoras mostró notorias mejoras en el aspecto de disminuir tanto la materia extraña que portan los trozos, como la pérdida de caña y los daños a los cultivos. Además, tienen mejor desempeño y son más eficientes y económicas en el consumo de combustible.

El sistema automático de corte de base en las máquinas de las dos marcas comerciales que operan en el valle del río Cauca aprovecha la adecuada nivelación de los terrenos, con lo cual incorpora la menor cantidad de suelo al vagón y disminuye el arranque de cepas (sistema Autotracker en CASE y sistema CICB en John Deere).

De otra parte, los controladores automáticos (en máquinas CASE se denominan AutoTurn y SIFdS en John Deere) evitan un mayor desgaste de los componentes de corte y limpieza de las máquinas cuando transitan por vías o callejones aledaños a los lotes, porque en tal caso desacti van los sistemas hidráulicos que mueven los divi sores, el cortador de base, el picador, el extractor y la cadena del elevador.

Estas cosechadoras también están equipadas con sistemas inteligentes que optimizan el uso de la potencia del motor aprovechando al máximo su torque sin exceder las rpm totales, lo cual se traduce en un ahorro de combustible (en CASE, Smart Cruise; en John Deere, Field Cruise).

A través de su telemetría las m áquinas pue - den medir el desempeño de su motor y de los componentes hidráulicos que generan gasto de energía, lo cual permite monitorear el rendimien - to de la m áquina en tiempo real e igualmente de - tectar fallas comunes de operación que afectan finalmente el aumento de basura e inciden en la pérdida de caña.

De otra parte, la georreferenciación de los campos sembrados se traduce en un mejor des empeño de la máquina y, por supuesto, dismi nuye los daños al campo por pisoteo durante la cosecha, a más de que permite utilizar el sistema de piloto automático.

# Sistemas inteligentes en las nuevas máquinas

- Sistema de sensores SmartClean (Máquinas John Deere). Detectan las pérdidas de caña y la eyección de residuos (ME) del extractor primario. La velocidad del ventilador se ajusta automáticamente según paráme tros preestablecidos, para determinar el porcentaje tanto de materia extraña en el elevador como de la eyección de residuos y de la pérdida de caña.
- Modo Power Save del sistema de limpieza (máquinas John Deere) . Los modos Power Save (Ahorro de Potencia) seleccionables reducen automáticamente las revoluciones del ventilador a un mínimo con el fin de ahorrar combustible, y lo desconectan cuando el elevador se detiene por un corto período.
- Sistema Autofloat (máquinas CASE). Per mite subir y bajar automáticamente los divi sores de cosecha de acuerdo con su presión
  contra el suelo. Se conoce como 'sistema
  copiador del suelo'.
- Sistema AutoTurn (máquinas CASE). Conecta o desconecta automáticamente las funciones de cosecha en los giros de la máquina en los callejones, disminuyendo conello el consumo de combustible.
- Sistema Autotracker (máquinas CASE). Controla de manera automática la altura del disco de corte, para evitar el exceso de tierra y el daño al cultivo por arranque de raíces o tocones muy altos. Se denomina 'sistema copiador de corte de base'.

### Desempeño de la máquina cosechadora

Para analizar el desempeño de las cosechadoras mecánicas es necesario considerar la biomasa de la caña de azúcar, el volcamiento de la caña y el espaciamiento entre surcos.

La biomasa de la caña de azúcar tiene cua tro componentes: el tallo, o sea la porción de la caña desde el suelo hasta el punto de quiebre; el cogollo, la porción a partir del punto de quiebre; las hojas superiores y las hojas secas adheridas al tallo.

El volcamiento de la caña se refiere a la posición relativa que presentan los tallos con respecto al terreno, y su cantidad. En tal sentido, los tallos pueden ser erectos, semierectos, volcados o acostados.

El espaciamiento entre surcos es la distancia entre las líneas del cultivo. Cuando esta distancia es equidistante en toda el área los surcos se denominan 'simples', y cuando su distancia varía entre dos valores se denominan 'compuestos'. En Colombia se trazan mayormente los surcos simples, y las distancias más comunes entre ellos son 1.50 m, 1.65 m y 1.75 m (Figura 16).

Las tres variables descritas inciden directa mente en el desempeño de la máquina cosecha dora, que Ripoli (1996) define como el conjunto de atributos que caracterizan el grado de dispo nibilidad de la máquina para la ejecución de la cosecha en determinadas condiciones operati vas. En tal sentido, el análisis del desempeño de la cosechadora no debe limitarse a su capacidad efectiva en términos de t/h o t/día, sino que debe considerar también la calidad de la materia prima cosechada, los índices de pérdidas en el campo derivados de ineficiencias logísticas de la operación, y el consumo de combustible como indica dor del impacto ambiental con base en la huella de carbono.



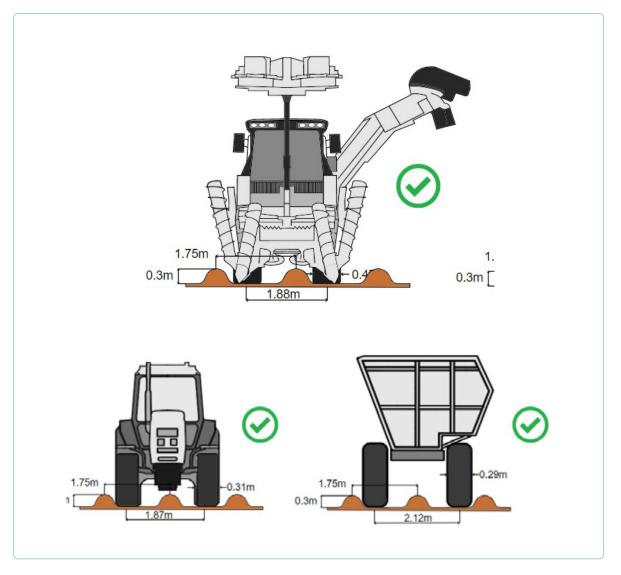


Figura 16. Trocha de equipos vs. distancia entre surco a 1.75 m.

### Indicadores de gestión

Dado el alto valor de la inversión que demanda la cosecha mecánica y su impacto en la calidad de la caña cortada , es necesario establecer indi cadores de gestión que permitan evaluar con la mayor precisión posible los efectos de la interac ción entre la cosechadora, el cultivo y la materia prima. En Colombia estos indicadores de gestión miden la capacidad de la cosechadora, las pérdi das de materia prima, la calidad de la operación y el consumo de combustible.

## Capacidad o eficiencia de la cosechadora mecánica

La eficiencia de la cosechadora se determina por el desempeño operacional de la máquina para cortar una tonelada de caña en un tiempo dado, lo cual depende de las características mecánicas de la cosechadora, de las condiciones del culti -vo, de la logística de los equipos de apoyo y de la experiencia y capacitación del operador.

Los indicadores que determinan la eficiencia de la cosechadora mecánica son (De Castro, Man - tellatto y Graziano, 2015):

- Eficiencia de corte diario, medida en toneladas por día (TDM).
- Eficiencia de corte por hora, medida como las toneladas que corta la cosechadora en una hora motor, e incluye el tiempo de ma niobra en cabecera, el tiempo encendido esperando vagones, etc. En este indicador inciden el diseño del campo y la logística de la operación.
- Eficiencia efectiva operacional (t/h), medida como las toneladas que corta la cosechado ra por hora motor una vez descontados los tiempos de espera y de maniobra.
- Eficiencia operacional (%EFO). Es la relación entre la capacidad efectiva operacional y la eficiencia de corte, medida en porcentaje. El ideal es que se acerque a 100%.

### Calidad de la materia prima

Pérdidas en campo. Se determinan al esta blecer la caña que se deja en el campo des pués de la cosecha, y pueden ser:

Pérdida de tallos enteros. Pérdida de tallos partidos.

Pérdida por tocones pegados a la cepa.

Materia extraña. Cuando se cosecha mecá nicamente llegan a la fábrica, junto con los tallos de caña, materiales indeseados de nominados impurezas o materia extraña, ya sean de origen vegetal o mineral. Las impurezas minerales son mayormente tierra, y las vegetales son hojas secas, hojas verdes, cogollo, chulquines y caña seca. Aunque el sis tema de limpieza de la cosechadora busca separar de la caña cortada esos componen tes, parte de estos permanecen con la caña hasta que llega a los patios, y si no se cuenta con efectivos sistemas adicionales para de tectar y extraer las impurezas, un porcentaje

ingresa al proceso fabril y lo afecta en mayor o menor grado.

En tal sentido, para establecer el porcentaje de materia extraña de la caña cortada el ingenio puede hacer muestreos ya sea en la planta por medio de una sonda (Core Sampler) o utilizando el grab de la alzadora (uñada); o bien en el cam po, analizando directamente el material que sale del tobogán de la cosechadora.

Los tres indicadores comunes para medir la ma teria extraña que acompaña la caña de azúcar cosechada son:

- Porcentaje de materia extraña vegetal (%MEv). Es el peso de los componentes de la materia extraña vegetal en relación con el peso de la muestra total.
- Materia extraña mineral (%MEm). Es el peso de los componentes de la materia extraña mineral en relación con el peso de la mues tra total.
- Materia extraña total (%ME). Es el peso de la materia extraña mineral más el peso de la materia extraña vegetal en relación con el peso total de la muestra.

#### Consumo de combustible

El consumo de combustible en la cosecha mecá nica representa entre el 30% y el 40% del costo de operación de la cosechadora; de allí la impor tancia de controlar este factor. Los dos indicado res de eficiencia del consumo de combustible en la cosechadora son:

- Consumo en galones por hora (gal/h). Es el volumen de combustible consumido por la cosechadora por cada hora motor encendi da, medido en galones.
- Consumo en galones por tonelada (gal/t). Es la cantidad de combustible consumido por la cosechadora por cada tonelada de caña efectivamente cortada.

22 Cosecha y transporte de la caña de azúcar Cosecha mecánica



### Cadeneo y autovolteo

Es el proceso que sigue al corte en ambos sis temas de cosecha de caña de azúcar (manual o mecanizado), y tiene por finalidad cargar los vagones con la caña para transportarla hasta la fábrica para su beneficio.

En Colombia más del 80% de la caña de azú car es transportada por tractomulas, que por sus dimensiones y su peso no pueden ni deben in gresar a los campos o lotes para cargarlas direc tamente. Por tanto, es necesario utilizar en esta operación vagones que pueden ser con cadeneo directo o con autovolteo. Es de cadeneo direc to el sistema que utiliza un vagón de transporte que, halado por un tractor, se carga dentro de la suerte con la caña cortada para transportarla directamente hasta el ingenio; y es de autovolteo el sistema que emplea un vagón como medio in termedio para cargar la caña y trasbordarla a los vagones de transporte en sitios acondicionados para ese fin.

Existen distintos tipos de vagones de autovolteo, desde los de un eje hasta los de cuatro ejes. En Colombia se utilizan principalmente vagones de dos ejes con capacidades que varían entre 8 t y 10 t de carga neta ( Figura 17 ). El sistema de vagones de autovolteo tomó fuerza en Colombia a partir de 2006 con el proyecto CATE – FASE 1, como un imperativo para proteger de la compactación los campos debido a su bajo peso y a su menor carga por eje, así como por su capacidad para transportar más caña por viaje.

Con la operación de autovolteo se minimizan los tiempos muertos de la cosechadora durante el corte, para lo cual debe establecerse lo más acertadamente posible el número de autovolteos (tractor con vagón de autovolteo) por cada co sechadora en función de tres variables: la capa

cidad de carga neta del vagón de autovolteo, la eficiencia de la cosechadora en t/h y la distancia entre el cargue del vagón de autovolteo y el tra siego al vagón de transporte. En evaluaciones de la operación de este tipo de vagones realizadas entre 2010 y 2011 se encontró que contribuyen a disminuir en cerca de 12% el costo de la tone lada de caña cosechada en comparación con el sistema de cadeneo (Cenicaña, 2011).

El uso de vagones de autovolteo para el car gue de la caña en el campo en la cosecha me cánica no sólo contribuye a disminuir los costos de producción por ahorros en las operaciones de cosecha y transporte, sino que al utilizar vagones más livianos para ingresar a las suertes, con una carga por eje menor, se reduce, como se men cionó, el efecto negativo de su tránsito, tanto por compactación del suelo como por daño directo a las cepas, especialmente cuando las operacio nes se realizan en condiciones de alta humedad en el suelo (Figura 18) (Cenicaña, 2010).

En Colombia más del 80% de la caña de azúcar es transportada por tractomulas, que por sus dimensiones y su peso no pueden ni deben ingresar a los campos o lotes para cargarlas directamente. Por tanto, es necesario utilizar en esta operación vagones que pueden ser con cadeneo directo o con autovolteo.



Figura 17. Vagones de autovolteo.

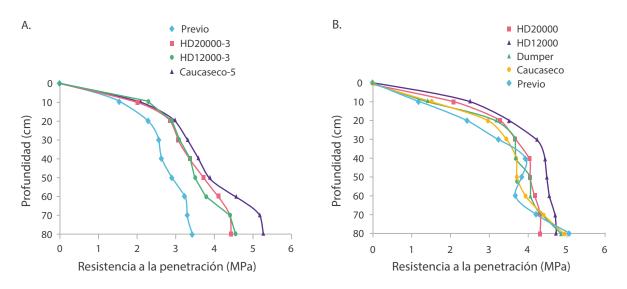


Figura 18. Resistencia a la penetración según equipo de cosecha: (A) Cosecha semimecánica, (B) Cosecha mecánica.

24 Cosecha y transporte de la caña de azúcar Cadeneo y autovolteo



### Transporte de la caña

La caña se transporta en trenes compuestos por un tractor o una tractomula que hala vagones de diferentes tipos. Utilizar uno u otro medio de tracción depende en la mayoría de los casos de la distancia entre el campo de cosecha y el ingenio. En distancias menores que 12 km se prefiere un tractor, y en distancias mayores se recurre a una tractomula, aunque actualmente hay la tendencia a utilizar este último medio aun en cortas distancias (Amú, 2010).

Los vagones han sido bautizados como HD12000 y HD20000. El vagón HD12000, de dos ejes, tiene un peso muerto superior a 7.5 toneladas y una longitud de 7.5 m. El vagón HD20000 es más largo (9.5 m) y tiene tres ejes. Por lo demás,

salvo la mayor longitud del HD20000 (con la consiguiente mayor capacidad de carga), las especificaciones de altura y ancho de ambos vagones son muy similares (Figura 19). Los trenes (támdem de vagones halados por una unidad motriz) se conforman con cuatro a cinco de estos vagones que suman una longitud total entre 48 m y 54 m (Torres et al., 2009).

Para el transporte con tractomula también se usan los vagones HD30000, que son cargados por vagones de autovolteo en los sitios acondi cionados para ese fin (Figura 20). Una tractomula normalmente transporta tres vagones HD30000 (Torres et al., 2009).



Figura 19. Vagones de transporte tipo HD20000.



Figura 20. Vagones de transporte tipo HD30000.

Desde 2010, Cenicaña (Proyecto CATE Fase I) desarrolló y promovió el uso de vagones de mí - nimo peso (Figura 21) para el transporte de caña picada, con el fin de reducir los costos de cosecha y transporte, dado que permiten transportar más caña con la misma energía y menos canti - dad de acero. Actualmente los vagones de este tipo (DL24000, HD24000, HD26000 y HD32000) representan el 32% de la flota de transporte de los ingenios de la región.

Estos desarrollos han permitido evolucionar de relaciones carga/acero de 1.9 para los vago - nes HD20000 a 2.8 para los vagones HD32000, un avance en la búsqueda de transportar más caña con menor cantidad de acero ( Cuadro 3 ).

Este tipo de vagones, que se cargan con au tovolteo y que se usan únicamente para el trans porte de la caña de azúcar, son menos exigentes en su estructura, construida con aceros de alta resistencia, y son menos robustos que los vagones convencionales de transporte que ingresan al campo para ser cargados. Los vagones de transporte de mínimo peso son construidos con mayor capacidad volum étrica y por tanto tienen mayor capacidad de carga, lo que se traduce en un aumento de la cantidad de caña transportada con igual consumo de combustible y menor costo por tonelada.



Figura 21. Vagón de transporte de mínimo peso tipo HD24000.

Cuadro 3. Relaciones caña/acero en vagones de transporte.

Vagón	Relación caña/acero	
HD20000	1.9	
DL24000	2.4	
HD24000	2.5	
HD30000	2.3	
HD32000	2.8	

En resumen, estos son los beneficios del uso de vagones de m ínimo peso:

- Disminución del costo de llantas porque uti lizan llantas camioneras en lugar de llantas agrícolas.
- Menor exigencia de mantenimiento de los equipos por menores esfuerzos y menores daños porque no ingresan al campo.
- Menor impacto sobre la compactación del suelo debido al ingreso al campo de vagones de autovolteo para el cargue de la caña, los cuales tienen una menor carga por eje (7–8 t/eje) que los vagones de transporte (11-12 t/eje).
- Menor da
   ño directo a las cepas con vagones de autovolteo.

Las evaluaciones técnicas y económicas de la logística de transporte con vagones de este tipo confirman que este sistema contribuye a disminuir en cerca del 11% el costo de caña transpor tada en comparación con el sistema de cargue directo (Cenicaña, 2011).

La caña se transporta en trenes compuestos por un tractor o una tractomula que hala vagones de diferentes tipos.

26 Cosecha y transporte de la caña de azúcar Transporte de la caña 27



# Logística de cosecha en los patios de caña

El centro de operaciones de la cosecha es el pa tio de caña, desde donde se asigna la maquinaria a los frentes y se coordina el ciclo de transporte de las tractomulas o tractores de tiro. Los frentes de cosecha en Colombia los componen entre 3 y 4 cosechadoras, 5 a 6 tractores de cadeneo con sus respectivos vagones de autovolteo y, según la distancia entre el campo y el ingenio, entre 2 y 7 tractomulas.

Para optimizar el uso de los equipos de transpor te se consideran las siguientes variables:

- Capacidad de transporte en toneladas por tren (t/viaje) según tipo de vehículo, diseño del vagón y sistema de cosecha utilizado. En Colombia, como se mencionó, para halar el tren de vagones se utilizan ma yormente tractomulas (más del 80%) y para el resto se usa el tractor. Las toneladas por viaje varían entre 50 y 60 si la caña es larga y entre 80 y 120 si la caña es picada. El Minis terio de Transporte regula el número máxi mo de vagones que conforma el tren, ya sea que lo hale una tractomula o un tractor, y su operación está sujeta al permiso del Instituto Nacional de Vías (Invías), que debe renovar se periódicamente. Dichas condiciones se aplican para el tránsito en vías públicas.
- Distancia de la materia prima al ingenio.
   En Colombia la caña de azúcar se transporta por vías internas (o vías azucareras) de los ingenios y cultivadores y por vías nacionales, en recorridos diarios desde frentes ubicados entre 0 km y más de 100 km del ingenio. La distancia media entre campo y fábrica es de 20 km.
- Manejo de inventario de materia prima. ingreso de caña al patio de caña de los inge nios no es uniforme debido a la variabilidad operativa que se presenta en los frentes de cosecha derivada del sistema de corte de la caña, el transporte y las distancias al inge nio, mientras que la molienda tiende a ser continua. En razón de estos factores aleato rios que perturban el suministro de caña al patio para garantizar su flujo continuo a la fábrica, es necesario mantener ciertas exis tencias de caña en el patio. Al igual que otras variables de los procesos de la agroindustria, este inventario de caña depende de cada in genio; sin embargo, un inventario promedio aceptable es el equivalente a dos horas de molienda. A este respecto, algunos ingenios consideran que la caña en tránsito de fren tes a distancia menor que 4 km es parte del inventario. De otra parte, para evitar tiempos perdidos a los vehículos de transporte, los inventarios de caña en el patio se almace nan en vagones adicionales a los del tren de transporte, que se desenganchan llenos en el patio o vacíos en los frentes, para optimi zar el transporte. A este conjunto de vagones se les denomina 'trenes de avance'.

En Colombia, para halar el tren de vagones se utilizan mayormente tractomulas (más del 80%) y para el resto se usa el tractor. Las toneladas por viaje varían entre 50 y 60 si la caña es larga y entre 80 y 120 si la caña es picada.

## Indicadores de gestión de la logística de cosecha

- Tiempo de ciclo de los vehículos de trans porte. Es la suma resultante de cuatro ac tividades: tiempo de viaje del equipo vacío al frente, tiempo del vehículo en el frente, tiempo de viaje del equipo lleno a la fábrica y tiempo del vehículo en el patio de caña. Este indicador, junto con el de la molienda diaria requerida y el de la capacidad de toneladas por viaje promedio del ingenio, determina la cantidad de vehículos necesarios (Amú, 2010).
- Eficiencia de los vehículos de transporte.
  Está dada por el número de viajes por día de cada vehículo (viajes/día), las toneladas pro medio de los viajes de caña por tren (t/viaje) y las toneladas promedio por vagón (t/vagón).
- Tiempo perdido por falta de caña. Es el tiempo (horas) que la fábrica está parada por falta de suministro de materia prima. Este indicador también se expresa en porcentaje, y en tal caso es la relación entre el tiempo perdido por falta de caña en un periodo de

terminado y el tiempo calendario de dicho periodo.

- Tiempo perdido en los frentes por falta de equipo de transporte. Es el tiempo que las máquinas alzadoras y cosechadoras de los frentes están paradas por falta de vehículos de transporte.
- Tiempo de permanencia. Mide el tiempo transcurrido en relación con varios factores: entre la quema o corte de la caña (lo que pri mero ocurra) y el momento de la molienda; entre la quema y el corte; entre el corte y el alce (o el llenado de los vagones si es cose cha mecánica); entre el llenado de los vago nes y su llegada a la báscula; y el tiempo en el patio antes del descargue (Amú, 2010).

Tomar decisiones correctas en la logística de patios depende de una información confiable y oportuna sobre las diferentes variables, lo que involucra disponer oportunamente de la materia prima en condiciones de suficiencia y calidad, para lo cual cada ingenio cuenta con herramien - tas sistematizadas y esquemas de levantamiento y suministro de información en tiempo real.





# Programación y planificación de la cosecha

La planificación de la cosecha se ciñe al programa de molienda anual, que se basa en las pers pectivas de venta de azúcar (crudo, blanco, blan co especial, orgánica, entre otros tipos), mieles, energía, etanol y bagazo.

Para satisfacer esa demanda anual cuentan los ingenios con sistemas de información agrí - cola por suertes (unidad de producción mínima) que engloba las variables de entrada del pro - grama de abastecimiento de caña a la fábrica, a saber: hacienda, suerte, edad, variedad, número de corte, fecha de maduración, tenencia, distan - cia, área, TCH estimado, tipo de caña (orgánica o convencional) y datos de producción del corte anterior, entre otras.

Con base en la disponibilidad de materia pri ma, proyectada por la edad de las suertes (13.5 a 14 meses con plantillas y 12.5 a 13.5 meses con socas) y en la distribución de las tenencias (tierras de manejo directo o de proveedores), los responsables del departamento de cosecha elaboran un plan de abastecimiento a fábrica mensual por grupos de suertes, que considera prioritariamente la maduración de la caña según los parámetros de la edad. Semanal y diariamen te se debe ajustar el programa de acuerdo con las condiciones de operación derivadas del clima (Iluvias y estado de humedad del suelo) y la dis ponibilidad de recursos logísticos por cada uno de sus frentes de operación, sean semi mecani zados o mecanizados.

Para la cosecha semi mecanizada, que deriva del corte manual, se diseña un programa de que ma de acuerdo con la necesidad de caña y su disponibilidad, el cual debe ceñirse a las exigen cias de la normatividad vigente sobre permiso de quemas emitida por las diferentes corporaciones autónomas regionales que cobijan el valle del río Cauca, a saber:

- Contar con acceso a la red meteorológica automatizada por medio de la plataforma de consulta Sinpavesa.
- Contar con personal capacitado y calificado para el ejercicio de la labor de quema, con dotación, elementos de protección y herra mientas adecuados.
- Contar con equipos de consulta de las con diciones del viento en el sitio: vehículo, trí pode, sensor de velocidad y dirección del viento.
- Contar con planos de los predios, que con tengan rosa de los vientos.
- Contar con un plan de prevención de que mas accidentales.
- El rango de la velocidad del viento al inicio de la quema debe ser entre 1,5 m/s y 5 m/s y su dirección tal que evite alcanzar centros poblados, aeropuertos y sectores industria les.

#### Plan de prevención de quemas accidentales

El área máxima por evento de quema será de seis hectáreas. La norma oficial define el protocolo de esta operación.

En caso de incendios no programados, o in cendios forestales derivados de la quema del cultivo, o afectación de propiedades y comunidades que colinden con las zonas de cultivo, o de la infraestructura vial y el tránsito de vehículos que se desplacen en sus inmediaciones o zonas de influencia, se debe aplicar el plan de emergencias previsto por la autoridad ambiental.

### Referencias

- Abadía L. A. (2010). Aspectos generales del alce mecánico de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Memorias Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar, p. 110. Cali: Tecnicaña.
- Amú L. G. (2010). Logística de cosecha. Evaluación de tiempos y movimientos. Indicadores y control. Revista Tecnicaña (26), pp. 25-30.
- \_\_\_\_\_(2011). Modelo de simulación y optimización para la gestión logística del sistema de abastecimiento de caña en un ingenio sucro-alcoholero colombiano. Cali: Universidad del Valle.

Asocaña (2010). Guía ambiental para el subsector de la caña de azúcar. Cali: Asocaña.

Cenicaña (2010). Informe Anual. Cali.

\_\_\_\_\_(2011). Informe Anual. Cali.

- CVC (2006). Resolución 91 de 2006. Por medio de la cual se establece y adopta el protocolo para la práctica de quemas abiertas controladas, en áreas rurales, para la recolección de cosechas de caña de azúcar, en jurisdicción del departamento del Valle del Cauca.
- \_\_\_\_(2016). Resolución 0100 número 0700-0741 de 2016, por la cual se adopta el plan de prevención y de emergencia para efectuar en caso de incendio en cultivos de caña de azúcar.
- De Castro G., Mantellatto J. y Graziano P. (2015). Avaliacao da colheita mecanizada. Desempenho de colhedoras de cana-da-acúcar. En G. De Castro, M. Tufaile y R. Pereira. Procesos Agricolas e Mecanizacao de Cana de Acucar, pp. 357-362). Jaboticabal, Brasil: CASE IH Agricultural.
- Estrada A., Isaacs C., Gómez A., Rosero J. Cabal P., Escobar E., Reyes J. (2012). Evaluación económica de un sistema de transporte de caña troceada con vagones de mínimo peso de descarga lateral. Cali: Cenicaña.
- Galvis D. (2010). Los sistemas de corte mecanizado de caña de azúcar. Equipos de cosecha. Cali: Tecnicaña.
- Giraldo F. (1995). Cosecha, alce y transporte. En: Cenicaña, El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, pp. 357-362. Cali: Cenicaña.
- Isaacs C., Estrada A., Gaviria F. y Calvo W. (2009). Evaluación técnica y económica del sistema de autovolteo vs. cadeneo con vagones HD 20000. Cali, Colombia: Cenicaña.
- Larrahondo J. (2002). Pérdidas de sacarosa entre cosecha y molienda. Informe Final Colciencias. Cenicaña, Cali, Colombia. Recuperado el 29 de noviembre de 2022

30 Uso de maduradores en caña de azúcar



- Morales A. (2010). Planificación y programación de la cosecha, logística de corte, indicadores de calidad del corte en un ingenio azucarero. Memorias Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar, p. 115. Cali: Tecnicaña.
- Morales A., Chica H., Arango R. y Restrepo M. (2015). Sistema de corte manual de caña de azúcar con machete australiano en Ingenio Mayagüez S.A. Cali: Tecnicaña.
- Ripoli T. (1996). Ensaio & certicacao de maquina para colheita de cana-de-acucar. En L. Mialhe, Máquinas agrícolas: ensaios & certificacao, pp. 635-673). Piracicaba: Fundacao de Estudos "Luiz de Queiroz".

\_\_\_\_(1996). Idem, ibídem.

- Sugar Research Australia (2014). Harvesting Best Practice Manual. Indooroopilly: Sugar Research Australia.
- Torres J., Villegas F., Durán A. y Cruz Valderrama R. (2009). Guía práctica para evaluar el desempeño de los sistemas de cosecha de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Cali, Colombia: Cenicaña.

#### LOS AUTORES

#### Luis Guillermo Amú Caicedo

### 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 el año 2008 como ingeniero investi gador en el proyecto "Corte, Alce, Transporte y Entrega de caña a la Fabrica" – Proyecto CATE del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia – Cenicaña, donde trabaja en es tudios 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 in genios y estimación económica de las diferentes actividades del sistema de cosecha y transporte de caña.

# Luis Armando Abadía Rizo, Ingeniero Industrial, Esp.

Ingeniero Industrial, Universidad Autónoma de Occidente Cali, Es pecialista en Productividad y Control de la Producción. Experiencia de 30 años en investigación, operación, desarrollo, dirección y ca pacitación en sistemas de cosecha de caña de azúcar empleando sistemas semi-mecanizados y cosechadoras mecánicas. Mejo rador de sistemas mecánicos de cosecha mecánica en diversos países y a nivel nacional con énfasis en calidad de cosecha, en menor perdida de sacarosa entre cosecha y molienda, indicadores de calidad operativos, tales como menor materia extraña y dis minución del deterioro de la caña por permanencia antes de mo lienda. Especialista en modelos de transporte de caña de azúcar. utilizando herramientas ingenieriles y administrativas que minimi zan el costo final, creador de la primera Torre de Control y Logística del sector nacional en Central Castilla S.A. Expositor y confer encista internacional a través de eventos del sector azucarero y de TECNICAÑA en territorio nacional. Asesor del macroprovecto CATE Fase II de CENICAÑA en la actualidad, 2022-2023. Dedicado a la capacitación magistral, asesoría y consultoría agrícola y man tenimiento mecánico, logística operacional, elaboración de planes de formación en Ingenios azucareros, incluyendo mecanización en labores agrícolas de caña de azúcar, así como al desarrollo de Es cuelas Técnicas de Formación de personal operativo de cosecha, de mantenimiento mecánico agrícola y de campo.

### Samuel Andrés Galeano, Ingeniero Agroindustrial, MBA.

Ingeniero Agroindustrial egresado de la Universidad San Bue naventura Cali (2006), con MBA del ISEAD Business School en Madrid, España (2012). Vinculado al sector de la agroindustria de la caña desde el año 2005 con tesis de grado aplicada en "alter nativas de mejora para el sistema de abastecimiento de caña a fábrica" en Ingenio María Luisa. Entre el año 2006 y 2008 fue Inves tigador patrocinado por Colciencias en el Centro de Investigación Corporación BIOTEC sede CIAT, desarrollando la propuesta de un "modelo de gestión del conocimiento para cadenas productivas de la Bioregión Valle del Cauca". Del año 2009 a 2022 trabajó en la industria azucarera en el área agrícola dirigiendo operaciones de Campo y Cosecha, logrando la mejora continua en los procesos bajo el enfoque de Agricultura Específica por Sitio y el incremento de la eficiencia operativa del CATE, mediante la ejecución de proyectos de base tecnológica. Actualmente, trabaja como Co ordinador del Macroproyecto CATE en el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, integrando las actividades de cinco proyectos que buscan el mejoramiento de la rentabilidad y sostenibilidad de la agroindustria.

### Héctor Alberto Chica Ramírez, Ingeniero Agrónomo, PhD(c).

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Caldas, Magíster en Matemáticas de la Universidad Tecnológica de Pereira y candidato a Doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el área de análisis y diseño de experimentos, simulación estocástica y modelación determinística y es tadística de cultivos en el sector cafetero y azucarero en empresas como Cenicafé y Cenicaña. Conferencista en Congresos y Sem inarios nacionales e internacionales. Actualmente se desempeña como Jefe del Servicio de Analítica de Cenicaña desempeñando funciones en la optimización matemática y formulación de proyec tos encaminados a la modelación matemática de cadenas de abastecimiento.

### Henrry Bladimir Tarapues Ipial, Ingeniero Mecánico, M.Eng.

Ingeniero Mecánico en 2019 de la Universidad del Valle, Colombia.

En 2023, en la misma institución, es candidato para obtener el títu lo de Maestría en Ingeniería énfasis Ingeniería Mecánica. Vinculado al Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia, CE NICAÑA, como Ingeniero Mecánico del área de CATE (Corte, Alce, Transporte y Entrega), desde el año 2022. Las principales áreas de trabajo son: dinámica y diseño de maquinaria y sistemas mecáni cos; evaluación y análisis de falla de sistemas mecánicos; imple mentación de técnicas de monitoreo asociadas a las condiciones de maquinaria, metodologías de confiabilidad y sistemas gerenciales para su mantenimiento, de acuerdo con las características or ganizacionales y soportadas en la normativa internacional vigente.