



Cosecha y transporte de la caña de azúcar

Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia





Amú Caicedo, Luis Guillermo

Cosecha y transporte de la caña de azúcar / Luis Guillermo Amú Caicedo;

Alejandro Estrada Bedón, Luis Armando Abadía Rizo, Samuel Andrés Galeano Patiño, Héctor Alberto Chica Ramírez, Henry Bladimir Tarapues Ipiál. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed.) -- Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2024.

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

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-8449-39-5

1. Caña de azúcar. 2. Cosecha. 3. Cosecha mecanizada. 4. Transporte de caña. 5. Logística. 6. Cosechadoras. 7. Vagones

I. Estrada Bedón, Alejandro II. Abadía Rizo, Luis Fernando. III. Galeano Patiño, Samuel Andrés. IV. Chica Ramírez, Héctor Alberto. V. Tarapues Ipiál, Henry Bladimir. VI. Título. VII. Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia

633.61 CDD 23 ed.

AM529

Cenicaña – Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

Cenicaña © 2024

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. (2024). 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. <https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/>

COSECHA

Cosecha y transporte de la caña de azúcar

Luis Guillermo Amú Caicedo

Alejandro Estrada Bedón

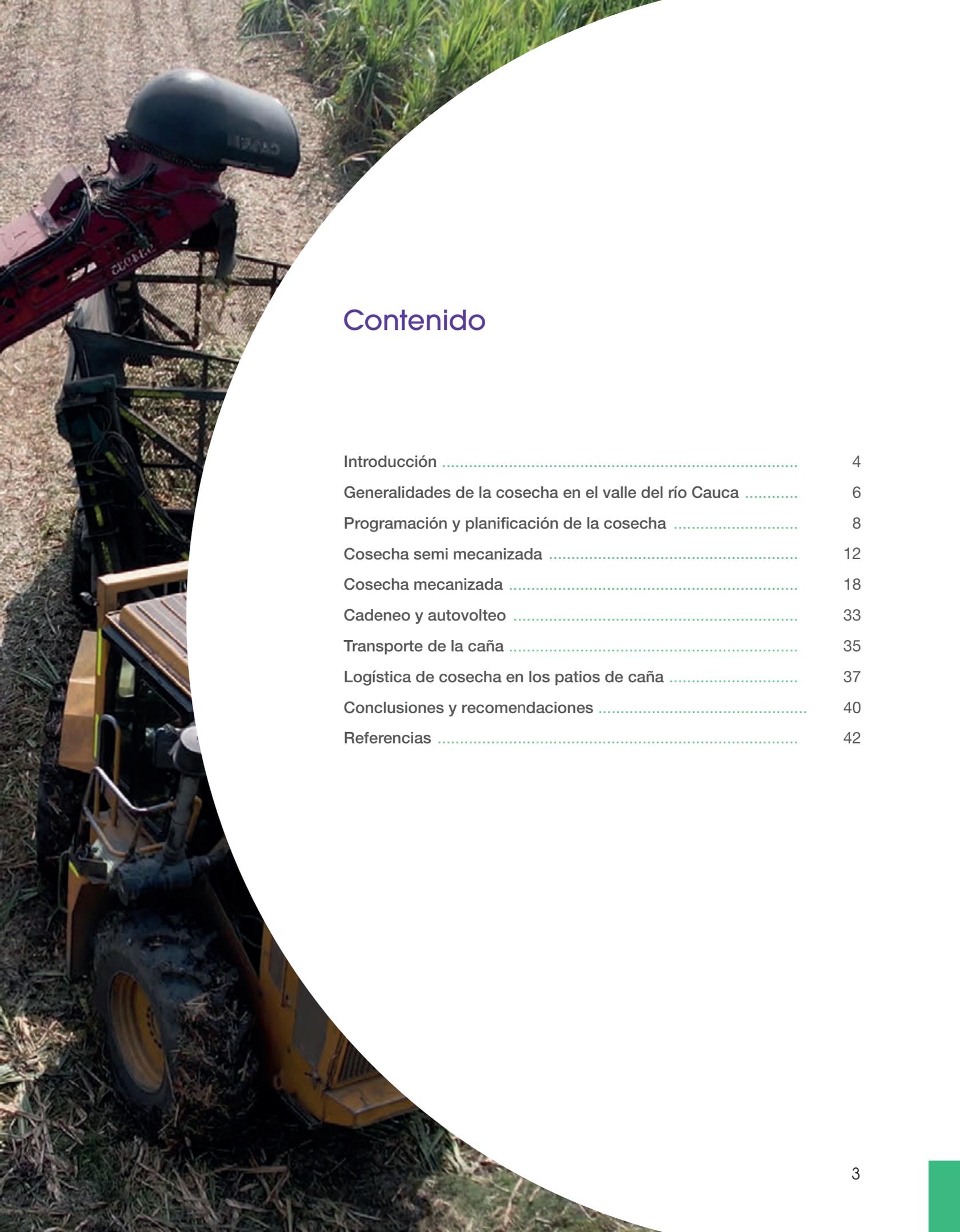
Luis Armando Abadía Rizo

Samuel Andrés Galeano Patiño

Héctor Alberto Chica Ramírez

Henry Bladimir Tarapues Ipial





Contenido

Introducción	4
Generalidades de la cosecha en el valle del río Cauca	6
Programación y planificación de la cosecha	8
Cosecha semi mecanizada	12
Cosecha mecanizada	18
Cadeneo y autovolteo	33
Transporte de la caña	35
Logística de cosecha en los patios de caña	37
Conclusiones y recomendaciones	40
Referencias	42

Introducción

La cosecha es una etapa clave en el proceso agroindustrial de la caña de azúcar. Su objetivo es recolectar tallos de caña madura en el campo y garantizar su suministro oportuno y suficiente a la fábrica en el menor tiempo posible con mínimas pérdidas y alta eficiencia, 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).

En el valle del río Cauca, 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 (Giraldo, 1995). De acuerdo con Torres et al. (2009), el sistema semi mecanizado es eficiente en costos y entrega caña con bajos contenidos de materia extraña, mientras que para establecer el sistema mecanizado se requieren adaptaciones en el campo y las fábricas, así





como en los equipos de transporte. Estas afirmaciones se dieron cuando el corte manual se practicaba en el 85% del área sembrada por la agroindustria y la cosecha de caña verde (cruda o sin quema previa) aún tenía metas por cumplir. En 2015 se cosecharon iguales proporciones de área con caña quemada y caña verde, y en 2023 la cosecha en verde se practicó en el 74% del área beneficiada y el corte mecanizado, en el 72%.

Durante estos años de transición, los criterios en las decisiones de cosecha han cambiado hacia un enfoque más sostenible en relación con el cuidado de las personas, el aire, el suelo y el cultivo, el consumo de combustible y la calidad de la caña de azúcar de uso industrial. Modelos de cosecha basados en pronósticos de producción de acuerdo con las previsiones climáticas han sido incorporados en la programación anual de los ingenios y son utilizados actualmente en las decisiones logísticas diarias que exige el sistema de producción agroindustrial.

Este documento presenta una descripción general de la cosecha de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, con énfasis en la cosecha mecanizada y la logística de transporte, incluidos algunos indicadores de gestión, con especial atención en la calidad de la caña cosechada.

Generalidades de la cosecha en el valle del río Cauca

La caña de azúcar del valle del río Cauca se desarrolla en un contexto andino ecuatorial (alrededor de los 3 a 5 grados de latitud norte y entre los 75 y 76 grados de longitud oeste), donde las formas del relieve y la cercanía al océano Pacífico determinan en buena parte la oferta climática local. Siete zonas climáticas contrastantes caracterizan la oferta ambiental para el cultivo en la región, lo que trae consigo variaciones espaciales en la productividad de la caña de azúcar (Cortés et al., 2024). La precipitación es la variable de mayor impacto en el tonelaje de caña por hectárea y el rendimiento comercial en azúcar. El flujo del viento determinado en tiempo real, en particular la velocidad en superficie y su dirección o rosa de los vientos, es información normativa para la realización de quemadas agrícolas controladas (Peña & Valencia, 2024; Preciado & Peña, 2024). Acerca de los suelos cuenta la agroindustria con estudios detallados y la descripción de 240 unidades cartográficas separadas por familias.

En el valle del río Cauca, cuenca alta, la agroindustria de la caña ocupa alrededor de 240,000 hectáreas distribuidas en 51 municipios de cinco departamentos y tiene una capacidad de molienda que puede alcanzar las 85,000 toneladas por día. Las fábricas operan alrededor de 288 días al año y los mismos ingenios se encargan de la cosecha, tanto en las tierras de manejo directo como en las tierras de productores y proveedores de caña.

En 2023, los ingenios molieron 20.9 millones de toneladas de caña para producir 1.96 millones de toneladas de azúcar y 326 millones de litros de bioetanol. Luego de la extracción del jugo, el bagazo de la caña alimenta las calderas iniciando así el ciclo de eficiencia energética que caracteriza los procesos azucareros en Colombia; en 2023, la industria generó excedentes que

sumaron 1800 giga vatios de energía eléctrica a la red pública.

La caña puede cortarse quemada o en verde (caña cruda o sin quema previa). La cosecha se realizó en verde usando máquinas combinadas en el 68% del área beneficiada en 2023. En el 6% del área el corte fue manual en verde y en el 18% fue manual con quema programada. Se presentaron incendios o quemadas no programadas en el 8% del área, donde se usaron ambos sistemas de cosecha en proporciones muy similares. La **Figura 1** ilustra el avance de la cosecha mecanizada y la reducción de la práctica de quema en la década 2013-2023.

La creciente adopción de la cosecha mecanizada ha implicado transformaciones en campo y fábrica:

- Diseño de campo integral para el manejo óptimo del agua de riego y drenaje y para una logística eficiente de cosecha.
- Surcado de precisión con sistema de autoguiado y referencia geográfica de las líneas de cultivo, coordenadas que se utilizan en el sistema de autoguiado de la cosechadora. La georreferenciación de los surcos evita daños al campo y las cepas ajustando el tránsito de la maquinaria y reduce los tiempos de llenado del vagón de autovolteo y su descarga a los vagones de transporte (Erazo et al., 2016).
- Cosecha en verde o sin quema previa, sin aumentar la materia extraña en la caña que ingresa a fábrica.
- Llenado de vagones de autovolteo en sincronía con la cosechadora y su posterior trasbordo a vagones de transporte.

- Transporte en vagones de mínimo peso estructural y alta densidad de carga por viaje, usando tractomulas, con menor consumo de combustible y menores costos operacionales (Estrada et al., 2012).
- Apronte de caña en el patio de fábrica usando vagones (trenes de avance). Se eliminó en patios la práctica de arrumes de caña larga en el piso considerando que, en esta condición, en 24 horas se pierde la misma cantidad de sacarosa (entre 7.5 y 11.4 unidades porcentuales) que en 72 horas de permanencia en vagones (Larrahondo, 2002).
- Recepción de caña en mesas acondicionadas para vagones de descarga alta (vagones HD) o vagones de descarga lateral (vagones DL).

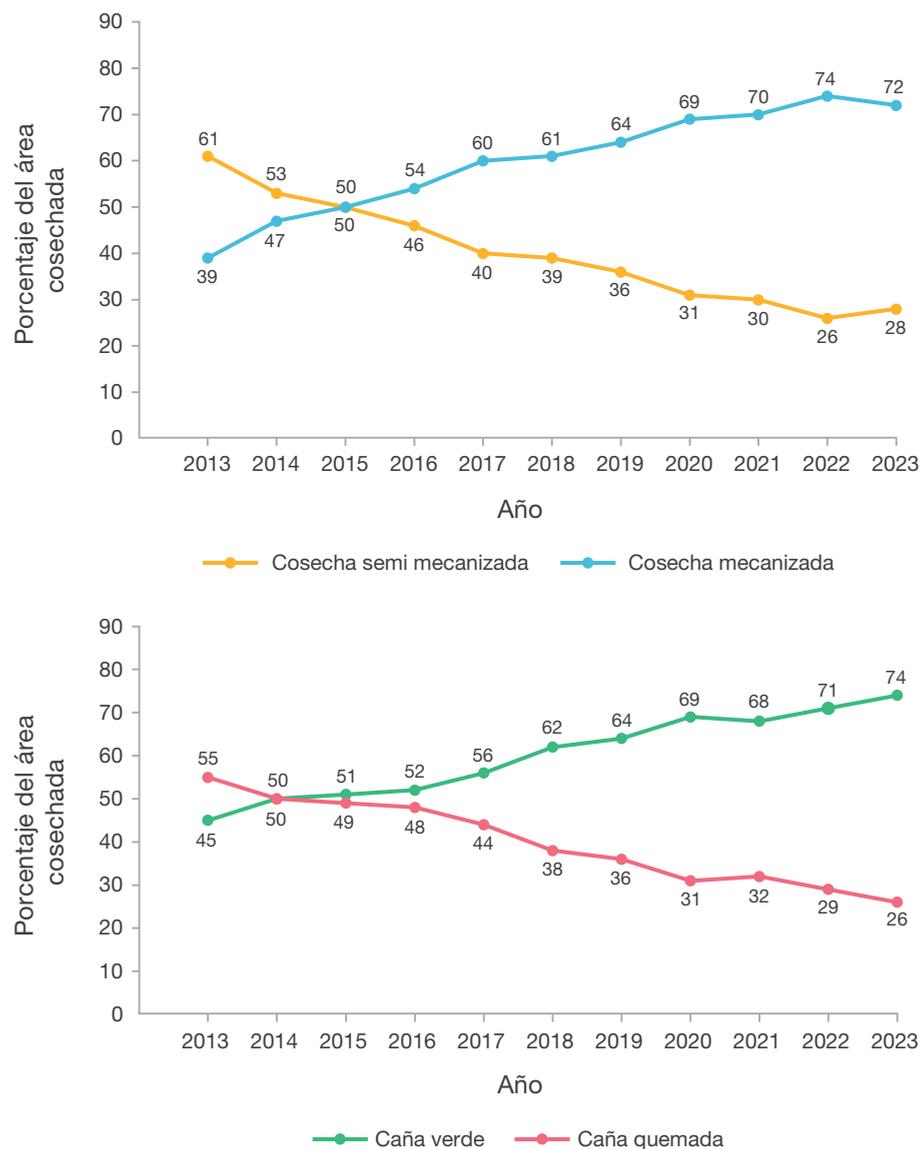


Figura 1. Evolución de los sistemas de cosecha de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Porcentajes relativos al área total cosechada anualmente durante el periodo 2013-2023.

Programación y planificación de la cosecha

La planificación de la cosecha se ciñe al programa de molienda anual, que se basa en las perspectivas de venta de los productos de la agroindustria, principalmente azúcares, etanol y energía eléctrica.

Para satisfacer esa demanda anual cuentan los ingenios con sistemas de información agrícola por suertes (unidad de producción mínima) que engloba las variables de entrada del programa de abastecimiento de caña a la fábrica considerando la maduración de la caña según la edad: hacienda, suerte, variedad, número de corte, etcétera.

Con base en la disponibilidad de caña en edades de 13.5-14.0 meses en plantilla y 12.5-13.5 meses en soca, los responsables de la cosecha en el ingenio elaboran el plan mensual de abastecimiento de caña por grupos de suertes, que ajustan cada semana y diariamente según las condiciones de la operación. Los planes de cosecha pueden cambiar debido al clima, la humedad del suelo, imprevistos o eventos no programados de diferente orden, entre otras situaciones.

Así, el éxito de una labor de corte de caña de azúcar depende de la programación anual de actividades, que debe ajustarse cada mes de acuerdo con el estado de maduración del cultivo; así como de la variedad, de la eficiencia de la maquinaria y de la mano de obra y su disponibilidad, y por supuesto, de las condiciones climáticas.

En las actividades cotidianas, el centro de operaciones de la cosecha es el patio de la fábrica, desde donde se coordina el flujo del sistema de corte, alce-acopio, transporte y entrega de caña a las mesas de alimentación de la fábrica

(Figura 2). Las decisiones correctas dependen de una información confiable y oportuna sobre las diferentes variables, lo que involucra disponer de la materia prima en condiciones de suficiencia y calidad, para lo cual cada ingenio cuenta con herramientas sistematizadas y esquemas de levantamiento y suministro de información en tiempo real.

La logística de transporte es un aspecto de superior importancia en la eficiencia integral de la cosecha, pues afecta el flujo del sistema, la calidad de la materia prima, los costos del proceso y las operaciones de fábrica.

El ciclo de operación de un vagón de transporte incluye el viaje vacío al frente de cosecha, el cargue, el viaje lleno y el descargue en fábrica. El costo directo del transporte varía en función de la distancia campo-fábrica y junto con el costo de la labor de corte representa el 70-80% de los costos directos de cosecha por cada tonelada de caña puesta en la báscula. Las operaciones de cargue y descargue de vagones de transporte suman el 20-30%, incluidos los costos de personal y consumo de combustible (Cenicafña, 2003).

De acuerdo con Sandoval & Villegas (2023), un programa eficaz de maduración sincronizado con el programa de cosecha puede incrementar la sacarosa entre 0.4 y 2.5 unidades porcentuales adicionales al momento del corte. La respuesta del cultivo dependerá de las condiciones climáticas durante las semanas del tratamiento de maduración y de la capacidad fisiológica de la variedad de caña para producir biomasa y sacarosa en volúmenes industriales. En general, se ha establecido que las buenas prácticas de siembra y cosecha contribuyen en 32% al tonelaje de caña por hectárea (Quevedo et al., 2023).



Cosecha semi mecanizada



Caña larga ordenada en chorras sobre el suelo.



Coordinación
logística de frentes
de cosecha



Alce mecánico a vagones de transporte.



Transporte con tractomula y tren de vagones de descarga alta.

Figura 2. Generalidades de los sistemas de cosecha y transporte de caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Cosecha mecanizada



Caña trozada a vagón de autovolteo.



Tren de avance de caña en patio de fábrica.



Trasbordo a vagón de transporte.



Transporte con tractomula y tren de vagones de descarga alta o descarga lateral.

Cosecha semi mecanizada

En la cosecha semi mecanizada los corteros cortan manualmente el tallo a ras del suelo y retiran el cogollo o también las hojas cuando el corte es realizado en verde. La caña larga es dejada en el suelo, en chorras ordenadas en forma perpendicular a la dirección de los surcos, y posteriormente es recogida por máquinas alzadoras y depositada en los vagones de transporte (Amú, 2011).

Este sistema permite suministrar caña de azúcar constantemente a la fábrica en cantidad suficiente y con bajos contenidos de materia extraña; pero en cuanto a la cantidad de caña transportada por viaje su rendimiento es bajo.

Los eventos de quema controlada antes del corte se programan de acuerdo con la normatividad vigente y los permisos emitidos por las diferentes corporaciones autónomas regionales que cobijan el valle del río Cauca.

El área máxima permitida para un evento de quema es de seis hectáreas. La velocidad del viento al inicio de la quema debe ser entre 1.5-5.0 metros por segundo y su dirección tal que evite alcanzar centros poblados, aeropuertos y sectores industriales. La norma oficial define el protocolo de esta operación.

Para realizar quemas agrícolas controladas se requieren personas capacitadas y calificadas en la labor, con dotación adecuada, herramientas y elementos de protección. El personal debe contar con:

- Acceso a la red meteorológica automatizada por medio de la plataforma SINPAVESA: Sistema de información normativa para el análisis del viento en el sector azucarero.

- Planos de los predios que contengan la rosa de los vientos en su tendencia histórica en distintas escalas de tiempo.
- Equipos para consultar las condiciones del viento en el sitio (vehículo, trípode y sensor de velocidad y dirección del viento).
- Plan de prevención de incendios: el ingenio debe establecer y dar a conocer el plan de prevención de incendios (quemas accidentales o no programadas) que incluye incendio del cultivo o incendio forestal derivado de un incendio del cultivo, o afectación de propiedades o 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.
- Si ocurre un incendio, según el caso se debe aplicar el plan de emergencias previsto por la autoridad ambiental.

Corte manual

Esta labor comprende el corte basal del tallo la separación del cogollo, la limpieza del tallo y su disposición sobre el suelo. El cortero debe cuidar de colocar la chorra bien alineada, sobre la sección del surco y perpendicular a la dirección de este; debe retirar las hojas y los cogollos que puedan haber quedado debajo de la chorra, material que debe ser ubicado a un metro de la línea de enchorre, lo cual se denomina ‘despeje lateral’ (Figura 3).

Para el corte se emplean tres tipos de machetes (pacoras): curvo australiano, bamba katana y tradicional. Elegir uno u otro depende de la preferencia del cortero, del tipo de caña a cortar (caída



Figura 3. Corte manual de caña larga y su acomodación en chorras sobre el suelo.

o erecta) y de las particulares exigencias de seguridad y calidad de corte de cada ingenio (Morales et al., 2015).

En el corte de caña quemada el cortero ejecuta con el machete dos pases: uno para desprender la base de la caña y otro para desprender el cogollo. En caña sin quemar el corte puede ser 'verde sucio' o 'verde limpio', y en el segundo caso se requieren al menos dos pases adicionales de limpieza para asegurar que se remuevan todas las hojas. Así, un cortero puede cortar en promedio 5-6 t/día de caña quemada, rendimiento que disminuye en caña verde limpia en 2-3 t/día en promedio (Asocaña, 2010).

Un frente de corte manual lo integra el siguiente personal:

- **Brechero:** encargado de delimitar el área de trabajo de cada cortero.
- **Cortero:** corta manualmente la caña.
- **Monitor:** responsable de indicar a los corteros 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 total 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 varios escenarios del frente.

Alce mecanizado

El alce mecánico se realiza con máquinas cargadoras de caña provistas de un brazo hidráulico con una uña que agarra los tallos dispuestos en chorras y los deposita directamente en vagones de transporte conducidos por un tractor de cadeneo. La caña está acomodada sobre los surcos y la maquinaria transita por las calles o entresurcos.

Las actividades de limpieza de la caña al momento del corte y en las chorras es fundamen-

tal 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 pisoteo a la cepa y compactación del suelo y disminuir las pérdidas de materia prima por mala operación (Abadía, 2010).

Las alzadoras modernas han mostrado rendimientos mayores que 45 t/h (Figura 4) y progresivamente se introducen alzadoras livianas de última generación (Figura 5).

La conformación de un frente de cosecha semi mecanizada 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; en general, se conforma así:

- Una o dos alzadoras: en la agroindustria colombiana operan actualmente las marcas Cameco (SP2254 y SP3000), John Deere (JD2254 y JD1850), Bell Matriarch Ulteco, Cane y Game. Las de mayor uso son las SP2254 y JD2254 (50 t/h) y la Bell Matriarch (35 t/h).
- Dos a cuatro tractores de cadeneo: rígidos o articulados, entre 170 HP y 220 HP de potencia. Los más utilizados son de las marcas John Deere (rígidos), Case (rígidos y articulados) y Game (articulados).
- Vagones de transporte: los más comunes son el HD12000 y el HD20000, y en menor medida el HD5000 donde aún se realiza el tiro directo con tractor a distancias mínimas de las fábricas, por vías internas o azucareras.
- Tractomulas con una potencia media de 450 HP y alimentadas por diésel o gas.
- Motoniveladora o tractor con pala (trasera o delantera), para tapar acequias.
- Camabaja para traslados de la alzadora, Dollys y góndola taller y de señales o avisos.



Figura 4. Alce mecanizado de caña larga con alzadora John Deere JD2254 (arriba) y Cameco SP2254 (abajo).



Figura 5. Alzadora liviana Bell Matriarch de última generación.

Eficiencia del corte manual

En el ingenio Mayagüez, en dos variedades evaluadas, la eficiencia del corte manual fue alrededor de 13% mayor en caña quemada en relación con el corte verde limpio, lo que representa alrededor de 0.8 t/día por hombre menos en caña sin quemar (Morales et al., 2015) (Cuadro 1).

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

Modalidad de corte	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%.

Fuente: Morales et al., 2015.

En seguimientos hechos en 2021 y 2022 en el ingenio María Luisa, que realiza un 70% del corte manualmente, se reportaron los siguientes resultados de eficiencia de esta operación en las variedades con mayor proporción de siembra en el valle del río Cauca (Cuadro 2). De igual forma, se puede observar la reducción del corte al realizar el corte en caña sin quemar frente a la misma operación en quema.

Cuadro 2. Rendimiento del corte manual en el ingenio María Luisa.

Modalidad de corte	Variedad	Rendimiento de corte (t/hombre/día) *
Caña verde	CC 05-430	3.5
	CC 01-1940	2.8
Caña quemada	CC 05-430	5.8
	CC 01-1940	5.1

* Promedio años 2021 y 2022.

Fuente: comunicación personal (Julián Molina, jefe Departamento de Cosecha, ingenio María Luisa, 2023).



Cosecha mecanizada

En la cosecha mecanizada una máquina autopropulsada (la cosechadora) corta la caña en trozos y los descarga en vagones livianos de autovolteo (8-10 t de capacidad) para su posterior trasbordo a vagones de transporte. En otros casos, los vagones de transporte ingresan al campo y son cargados directamente por la cosechadora.

El sistema mecanizado se introdujo en Colombia en 1982, cuando el ingenio Providencia probó 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 medianos resultados. Solo en 1992 el ingenio Manuelita obtuvo resultados aceptables con este sistema, utilizando una cosechadora Cameco CH2000, que alcanzó a trozar entre 15 y 20 toneladas de caña por hora, con un contenido de materia extraña de 8.5% en época seca y 12% en época de lluvia (Giraldo, 1995).

En 2022 se cortó mecánicamente en Colombia el 74% del área cosechada, lo que indica que ha habido una evolución notable en el desarrollo de las máquinas cosechadoras y un mayor conocimiento de la agroindustria sobre los factores técnicos que inciden en la eficiencia del sistema, lo cual ha permitido controlar las variables 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 son de las marcas Case (Austoft 9900) y John Deere (CH570) (Figura 6).

Comúnmente, un frente de cosecha mecanizada se conforma así:

- Dos o tres cosechadoras, según la necesidad del frente.
- Cinco a seis tractores: rígidos o articulados (John Deere, Case, Game).
- Uno o dos vagones de autovolteo por tractor (vagones de bajo peso con capacidad de 8 t a 10 t).
- Dos a siete tractomulas, según la distancia entre el campo y el ingenio.
- Camabaja y góndola taller y de señales o avisos.

En la cosecha mecanizada una máquina autopropulsada (la cosechadora) corta la caña en trozos y los descarga en vagones livianos de autovolteo (8-10 t de capacidad) para su posterior trasbordo a los vagones de transporte.



A.



B.



Figura 6. Cosechadoras de caña de azúcar: Austoft 9900 (A), John Deere CH570 (B).



Sistemas y mecanismos de la cosechadora

La cosechadora es una máquina agrícola que efectúa la labor de corte basal, troceado, limpieza y cargue de la caña de azúcar. 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 extractores de aire retirar la materia extraña vegetal; asimismo, permite cargar los vagones por medio de un conductor de caña basado en un sistema de tablillas (Figura 7).

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 electrónicamente.

El trabajo realizado es optimizado con sistemas informáticos que indican el nivel de eficiencia de la máquina.

La cosechadora es una máquina agrícola que efectúa la labor de corte basal, troceado, limpieza y cargue de la caña de azúcar.

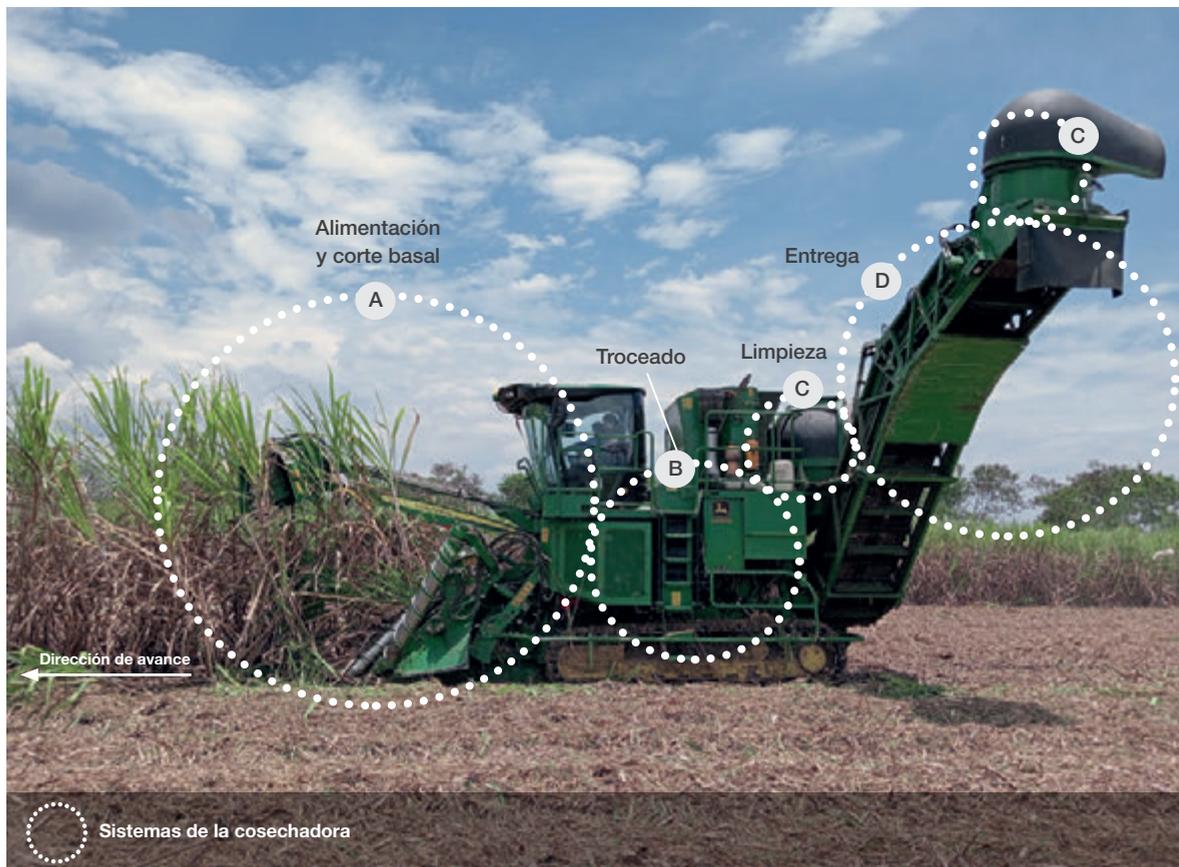


Figura 7. Sistemas fundamentales de una cosechadora de caña de azúcar y su ubicación aproximada en la máquina.

Sistema de alimentación de caña y corte basal

Los diferentes mecanismos de este sistema 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 (**Figuras 8 a 10**).

Descogollador

Con cuchillas montadas en un tambor rotativo, la cosechadora corta y retira el cogollo o parte superior de los tallos, cuyo contenido de sacarosa es muy bajo. El descogollador consta de los siguientes componentes: tambor colector porta cuchillas, discos apiladores o recogedores de cogollos, motores hidráulicos y tándem de cuchillería.

Divisores de cosecha

Alimentan la cortadora de base actuando como tornillos sinfín de forma cónica. Los divisores interiores alimentan la cortadora de base y los divisores laterales despejan la caña del surco adyacente. La altura y el ángulo de ambos los ajusta el operador de la máquina. Los zapatos patines con puntera recogen la caña que ha caído sobre la calle de riego (entresurco). Su contacto excesivo con el suelo aumenta el nivel de materia extraña mineral que llega al molino. Estos divisores son accionados con extensiones de cilindros hidráulicos, e incluyen los siguientes componentes: zapatos o patines laterales, punteras de dichos zapatos de diferentes ángulos y forma de ataque, tornillos sinfín de diferente giro y zapatas flotantes laterales.

Rolos tumbadores

Permiten, 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 el cortador 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.

Cortador 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 promedio, aproximadamente 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 apoyada 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.

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 (cammellón).

Rolos transportadores alimentadores

Conjunto de rodillos fijos y basculantes que dirigen la caña larga hacia la cámara del picador, 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, cerca de 180 rpm, con tambores de 22 cm 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 chasis y los rolos basculantes se encuentran en su sector superior, es decir, encima de los fijos, lo que permite el paso del flujo de caña.

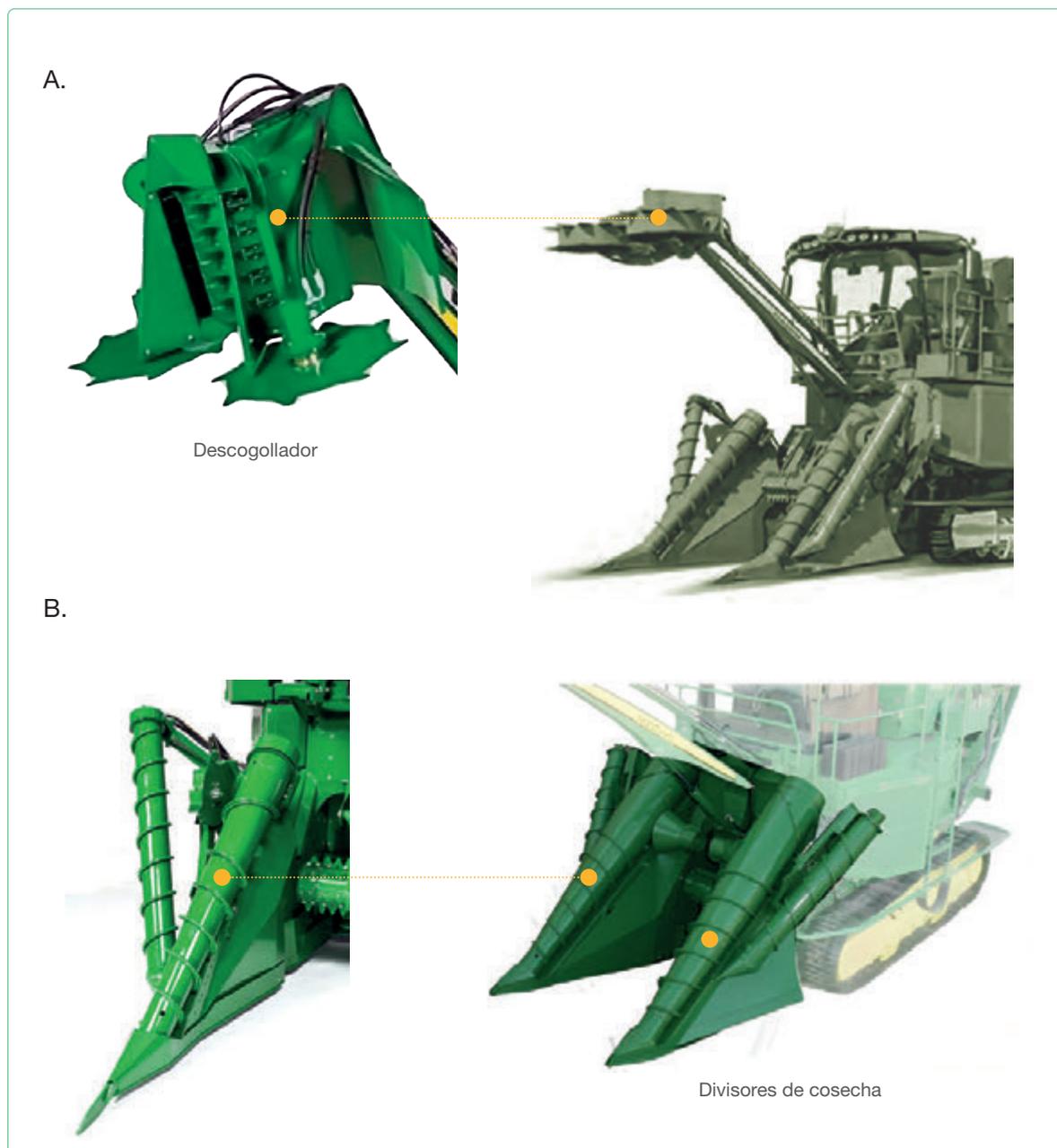


Figura 8. Mecanismos del sistema de alimentación de caña y corte basal: descogollador (A) y divisores de cosecha (B).

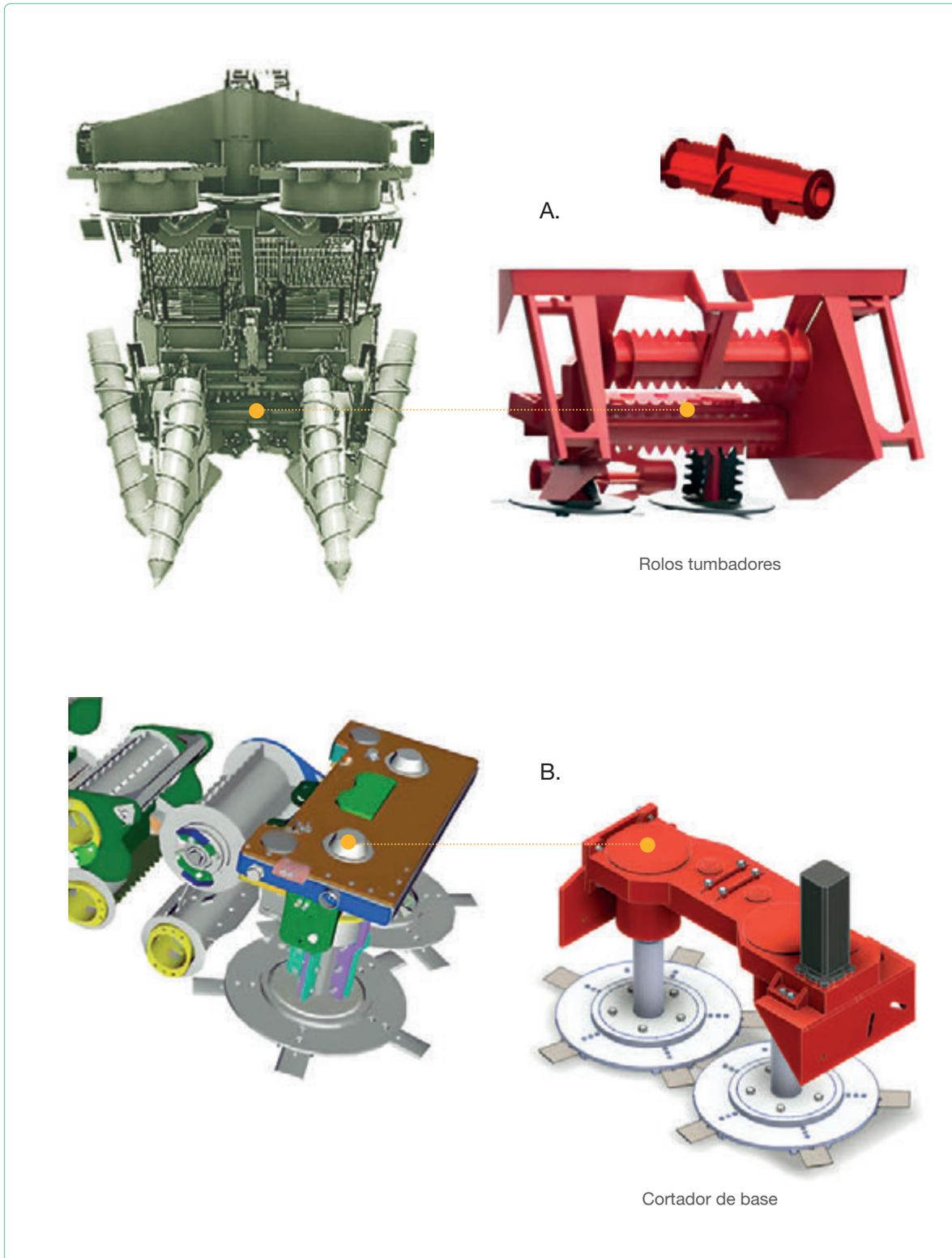


Figura 9. Mecanismos del sistema de alimentación de caña y corte basal: rolos tumbadores (A) y cortador de base (B).

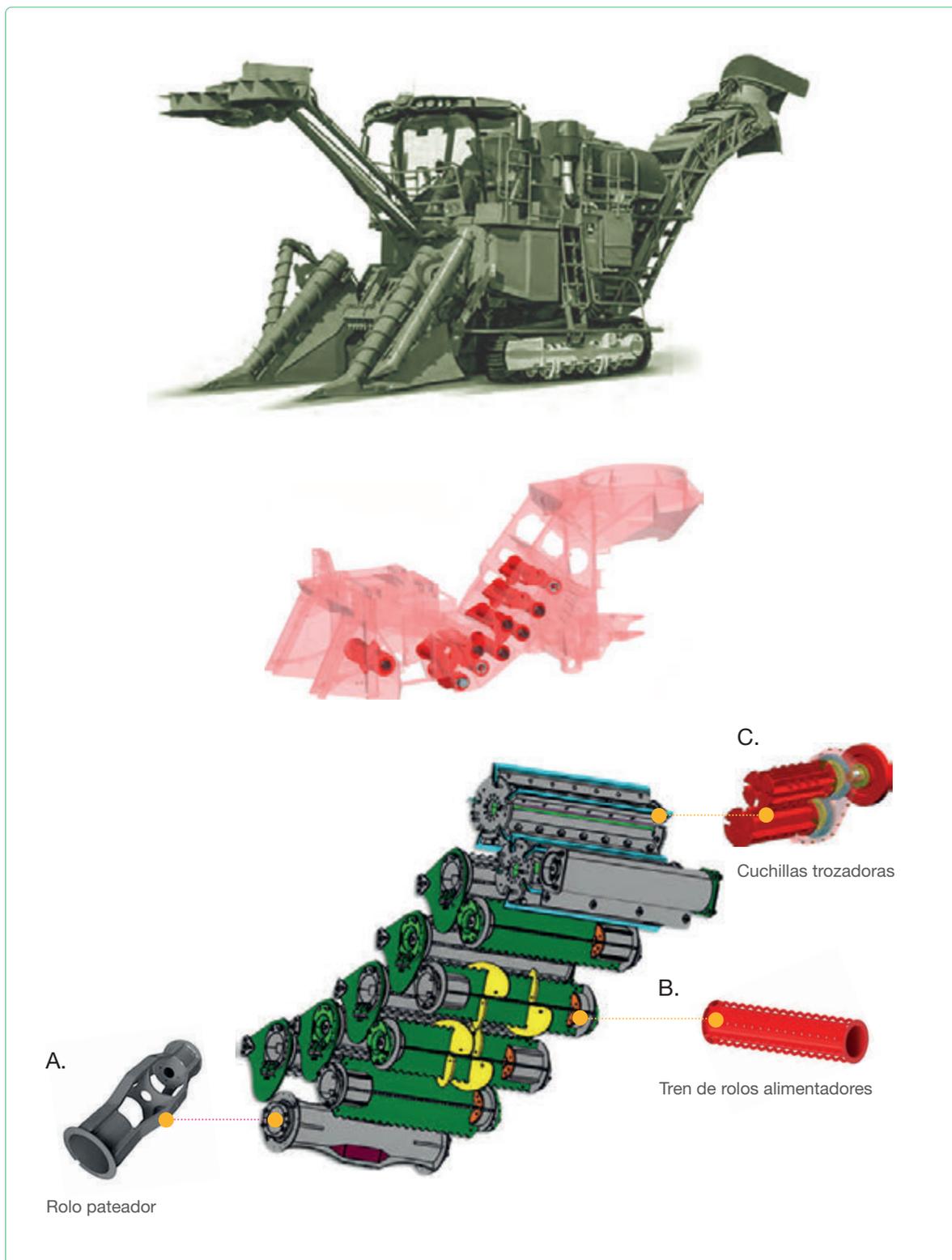


Figura 10. Mecanismos de los sistemas de alimentación de caña y picado: rolo pateador (A), tren de rolos alimentadores (B) y cuchillas trozadoras (C).

Sistema de picado o troceado de la caña

Este sistema 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. Para ello está provisto de rolos porta cuchillas, que han ido aumentando con el tiempo, y en la actualidad se encuentran máquinas 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 superior y rolo inferior, caja de transmisión, volante de inercia, cuchillas de troceado, mordazas de sujeción, cámara del picador y láminas deflectoras y lanzadoras (Figura 10).

Cuchillas de troceado

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 cuidado 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.

Mordazas de sujeción

Son piezas metálicas claves que soportan contra el tambor los esfuerzos a que son sometidas las cuchillas en el momento del golpe que implica el corte 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.

Láminas lanzadoras

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.

Sistema de limpieza de la caña

Consiste en dos extractores, uno principal y otro secundario, mediante los cuales la cosechadora separa en pequeños gránulos la materia extraña vegetal y mineral y los expulsa (Figura 11).

Láminas deflectoras

Tienen tres posiciones que permiten dirigir la corriente de aire para expulsar hacia el extractor las hojas picadas y demás elementos vegetales.

Extractor primario

La cámara del extractor contiene un ventilador de cuatro aspas con 1.5 m de lado a lado, que produce un ciclo de corriente de aire amplio para limpieza de material extraño vegetal. El sistema antivórtice evita el desperdicio de aire y lo dirige a los lados, para que este torbellino no ascienda de forma vertical y directamente por debajo de las aspas del ventilador. El sistema de extracción es accionado hidráulicamente y las revoluciones del ventilador deberán ajustarse en función de las toneladas de biomasa total del cultivo, con lo cual se evitará que el extractor expulse por su capuchón trozos pequeños de caña que representan una pérdida y afectan las cifras de producción de caña por hectárea. Generalmente opera entre 900 rpm y 1050 rpm.

Calota

Esfera plástica de alta resistencia, distribuye el aire lateralmente para impedir que se forme un torbellino en el interior de la cesta recolectora. El sistema de extracción no consiste solamente en el ventilador principal, pues consta además de una cámara que aumenta la capacidad del

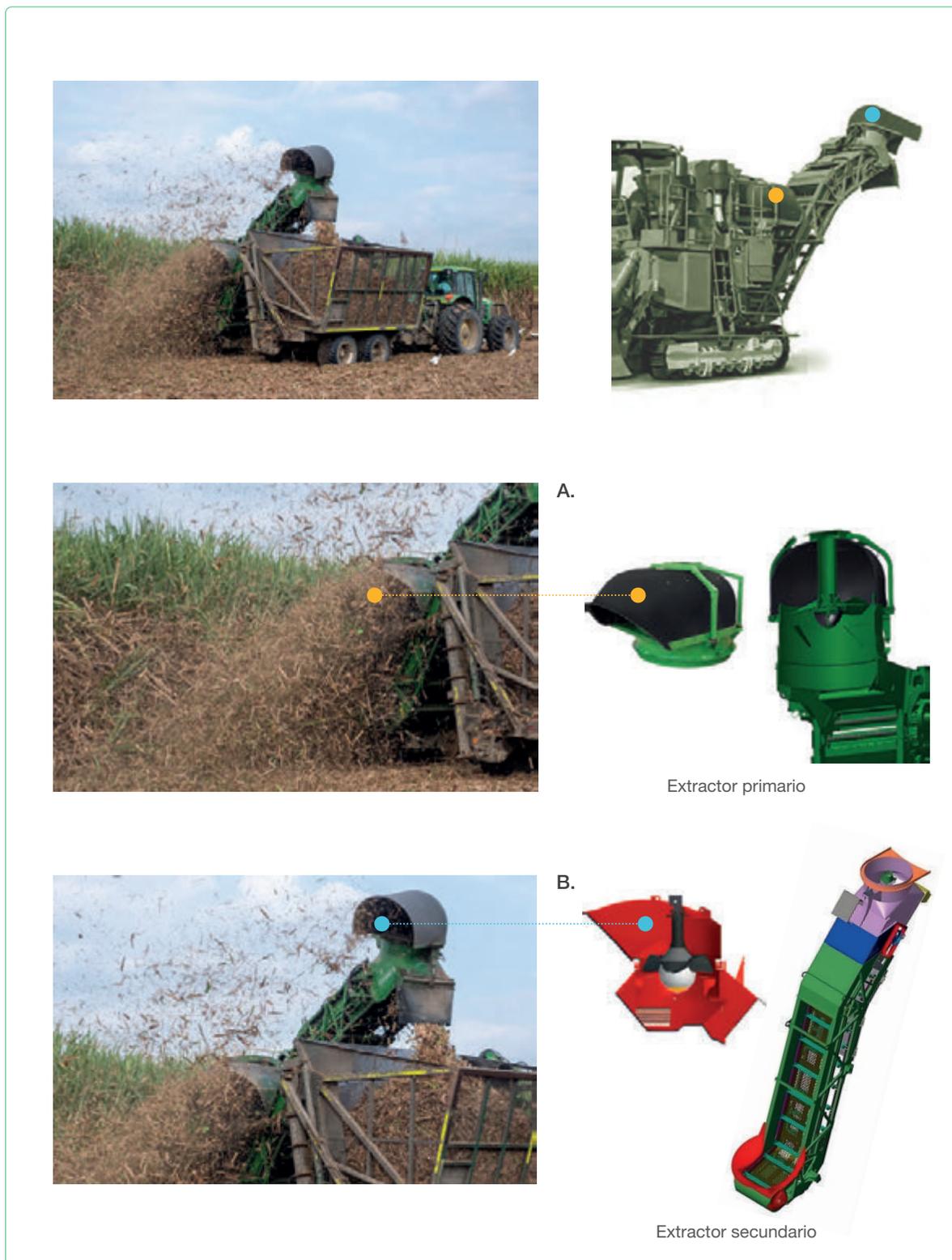


Figura 11. Mecanismos del sistema de limpieza: extractor primario (A) y extractor secundario (B).

extractor, que pasa de 1.2 m a 1.5 m. 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 secundario 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. Consta de tres aspas, generalmente de forma trapezoidal, que rotan a casi 1600 rpm. La posición de este extractor, accionado hidráulicamente, puede girar hasta 360 grados 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.

Sistema de entrega de caña al vagón

Su función es que la máquina cosechadora pueda descargar la caña trozada al vagón, por medio de un conductor o equipo de llenado (Figura 12).

Conductor o elevador

Este conductor o elevador sobrepasa los 4 m de altura en su punto de descarga al vagón, aunque viene equipado con láminas de alargue para un total de 30 cm 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 cadenilla requiere estar tensada permanentemente para evitar paradas.

Avances tecnológicos en las cosechadoras de última generación

En 2022, la nueva generación de máquinas cosechadoras de las dos marcas comerciales que operan en el valle del río Cauca mostró notorias mejoras en disminuir la materia extraña que portan los trozos de caña, la pérdida de caña y los daños al cultivo; tienen mejor desempeño y son más eficientes y económicas en el consumo de combustible.

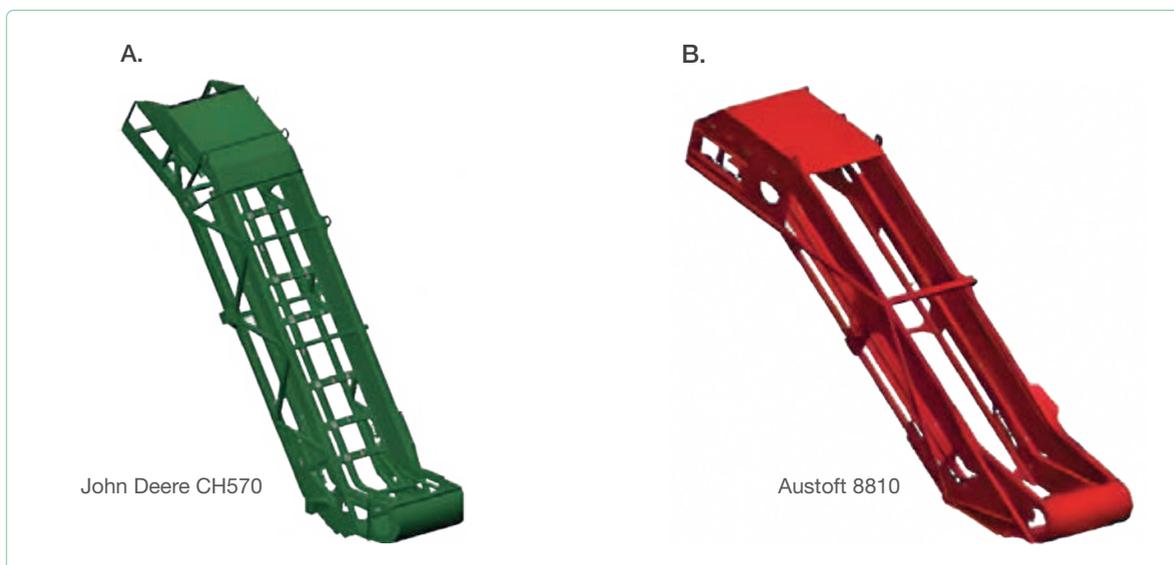


Figura 12. Mecanismos del sistema de entrega de caña: elevadores máquina John Deere CH570 (A) y máquina Austoft 8810 (B).

El sistema automático de corte de base en las máquinas aprovecha la adecuada nivelación de los terrenos, con lo cual incorpora la menor cantidad de suelo al vagón y disminuye el arranque de cepas (sistemas Autotracker en Case y CICB en John Deere).

De otra parte, los controladores automáticos 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 desactivan los sistemas hidráulicos que mueven los divisores, el cortador de base, el picador, el extractor y la cadena del elevador (sistemas AutoTurn en Case y HMS en John Deere).

Estas cosechadoras también están equipadas con sistemas inteligentes que optimizan el uso de la potencia del motor aprovechando al máxi-

mo su torque sin exceder las revoluciones por minuto totales, lo cual se traduce en un ahorro de combustible (sistemas Smart Cruise en Case y Field Cruise en John Deere).

A través de su telemetría las máquinas pueden medir el desempeño de su motor y de los componentes hidráulicos que generan gasto de energía, lo cual permite monitorear el rendimiento de la máquina en tiempo real e igualmente detectar fallas comunes de operación que afectan finalmente el aumento de basura e inciden en la pérdida de caña.

De otra parte, la georreferenciación de las líneas de siembra o cultivo mejora el desempeño de la maquinaria y, por supuesto, disminuye los daños al campo por pisoteo durante la cosecha, a más de que permite utilizar el sistema de piloto automático. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Sistemas inteligentes en las nuevas máquinas cosechadoras de caña de azúcar.

Sistema AutoTurn (Case)	Conecta o desconecta automáticamente las funciones de cosecha en los giros de la máquina en los callejones, disminuyendo con ello el consumo de combustible.
Sistema Autofloat (Case)	Permite subir y bajar automáticamente los divisores de cosecha de acuerdo con su presión contra el suelo. Se conoce como ‘sistema copiador del suelo’.
Sistema Autotracker (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’.
Sistema de sensores SmartClean (John Deere)	Detecta las pérdidas de caña y la eyección de residuos (materia extraña) del extractor primario. La velocidad del ventilador se ajusta automáticamente según parámetros preestablecidos, para determinar el porcentaje de materia extraña en el elevador y como producto de la eyección, así como la pérdida de caña.
Modo Power Save del sistema de limpieza (John Deere)	Los modos power save (ahorro de potencia) seleccionables reducen automáticamente las revoluciones del ventilador primario a un mínimo con el fin de ahorrar combustible, y lo desconectan cuando el elevador se detiene por un corto período.

Desempeño de la 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 tiene cuatro componentes principales: el tallo, o sea la porción de la caña desde el suelo hasta el punto natural 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 los surcos son equidistantes en toda el área 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 de diseño más comunes entre surcos son 1.50 m, 1.65 m y 1.75 m (Figura 13).

Las tres variables descritas inciden directamente en el desempeño de la máquina cosechadora, que Ripoli (1996) define como el conjunto de atributos que caracterizan el grado de disponibilidad de la máquina para la ejecución de la cosecha en determinadas condiciones operativas.

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 derivadas de ineficiencias logísticas de la operación, y el consumo de combustible como indicador del impacto ambiental con base en la huella de carbono.

Indicadores de gestión de la cosecha mecanizada

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 indicadores de gestión que permitan evaluar con la mayor precisión posible los efectos de la interacción entre la cosechadora, el cultivo y la materia prima. En Colombia estos indicadores de gestión miden la capacidad de la cosechadora, las pérdidas de materia prima, la calidad de la operación y el consumo de combustible.

Capacidad o eficiencia de la cosechadora

La eficiencia de la cosechadora se determina por el desempeño operacional o capacidad 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 cultivo, 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, Mantellatto y Graziano, 2015):

- Eficiencia de corte diario, medida en toneladas por día (t/día).
- Eficiencia de corte por hora (t/h), medida como las toneladas que corta la cosechadora en una hora motor, incluido el tiempo de maniobra en cabecera, el tiempo encendido esperando vagones, etcétera. 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 cosechadora por hora motor, una vez descontados los tiempos de espera y de maniobra.
- Eficiencia operacional (%), es la relación entre la capacidad efectiva operacional y la eficiencia de corte, medida en porcentaje. El ideal es que se acerque a 100%.

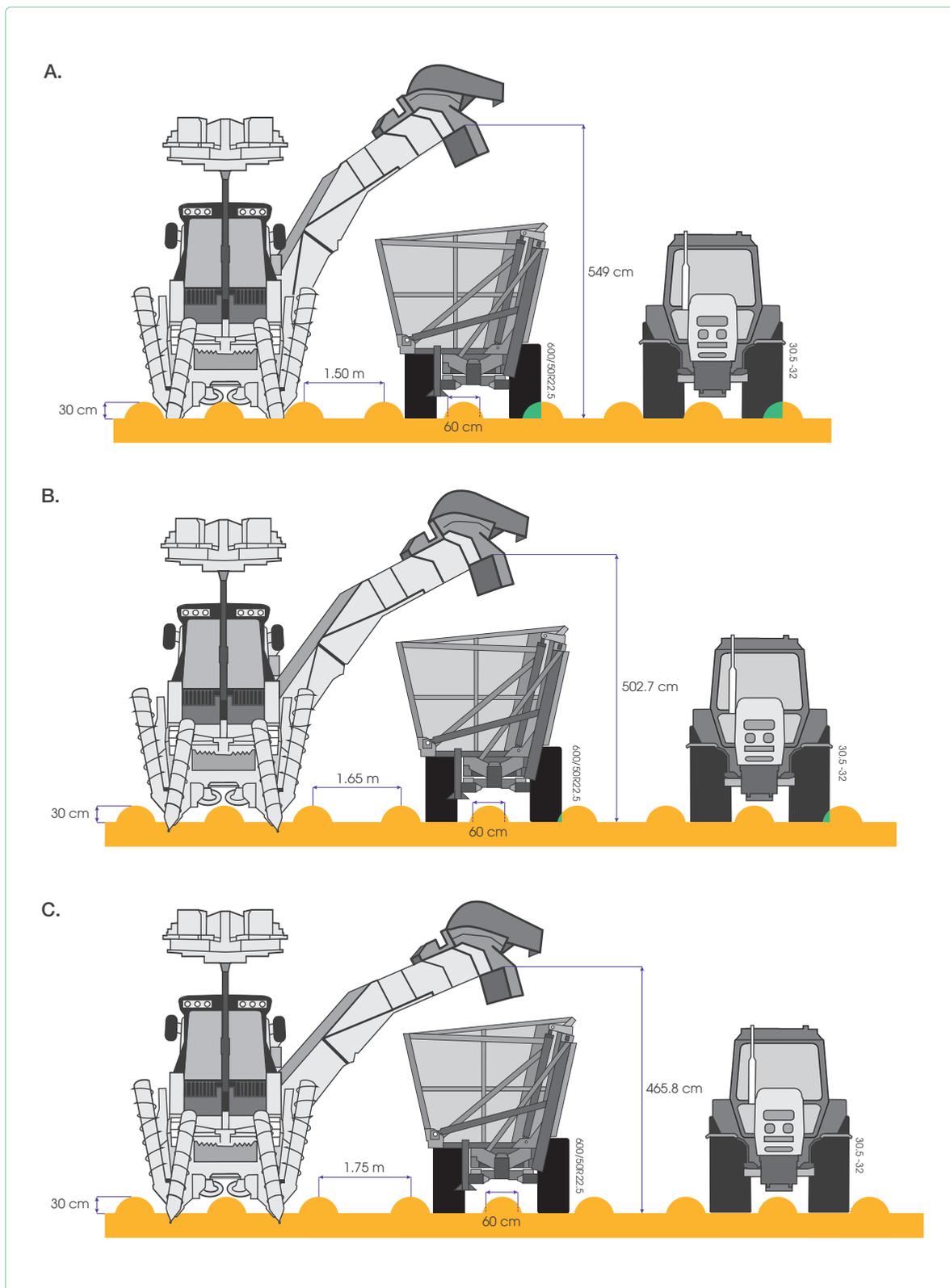


Figura 13. Trocha de equipos versus distancia entre surcos: 1.50 m (A), 1.65 m (B) y 1.75 m (C).

Pérdidas de caña en campo

Las pérdidas se determinan al establecer la caña que se deja en el campo después de la cosecha, y pueden ser: tallos enteros, tallos partidos y tocones pegados a la cepa.

Calidad de la materia prima

Cuando se cosecha mecánicamente llegan a la fábrica, junto con los tallos de caña, materiales indeseados denominados 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 y caña seca.

Aunque el sistema de limpieza de la cosechadora busca separar de la caña cortada los distintos componentes de materia extraña, parte de estos permanecen con la caña hasta que llega a los patios, y si no se cuenta con sistemas adicionales efectivos para detectar y extraer las impurezas, un porcentaje ingresa al proceso fabril y lo afecta en mayor o menor grado.

En tal sentido, los ingenios hacen muestreos ya sea en la báscula, tomando una muestra de caña en los vagones de transporte por medio de una sonda mecánica (*core sampler*) o utilizando el *grab* de una alzadora (uña); o bien en el campo, analizando directamente el material que

sale del tobogán de la cosechadora. Así, los tres indicadores comunes para medir la materia extraña en la caña cosechada son:

- Materia extraña vegetal (%), es el peso de los componentes de la materia extraña vegetal en relación con el peso de la muestra total.
- Materia extraña mineral (%), es el peso de los componentes de la materia extraña mineral en relación con el peso de la muestra total.
- Materia extraña total (%), 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

Entre el 30-40% del costo de operación de la cosechadora corresponde a consumo de combustible. Los indicadores de eficiencia de la máquina en consumo de combustible son:

- Consumo en galones por hora (gal/h), es el volumen de combustible consumido por la cosechadora por cada hora motor encendido.
- Consumo en galones por tonelada (gal/t), es el volumen de combustible consumido por la cosechadora por cada tonelada de caña efectivamente cortada.



Cadeneo y autovolteo

Es el proceso que sigue al corte en ambos sistemas 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 90% 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:

- Vagones de cadeneo directo, 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.
- Vagones de autovolteo, sistema que emplea un vagón como medio intermedio para cargar la caña y transbordarla 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 14).

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 cosechadora en función de tres variables: la capacidad 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 trasiego al vagón de transporte. En evaluaciones de la operación de este tipo de vagones se en-

contró que contribuyen a disminuir en cerca de 12% el costo de la tonelada de caña cosechada en comparación con el sistema de cadeneo (Isaacs et al., 2009; Genicaña, 2011).

El uso de vagones de autovolteo para el cargue de la caña en el campo en la cosecha mecánica 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 el efecto negativo de su tránsito, tanto por compactación del suelo como por daño directo a las cepas, especialmente cuando las operaciones se realizan en condiciones de alta humedad en el suelo (Figura 15) (Genicaña, 2010).

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 cosechadora en función de tres variables: la capacidad 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 trasiego al vagón de transporte.



Figura 14. Vagón de autovolteo.

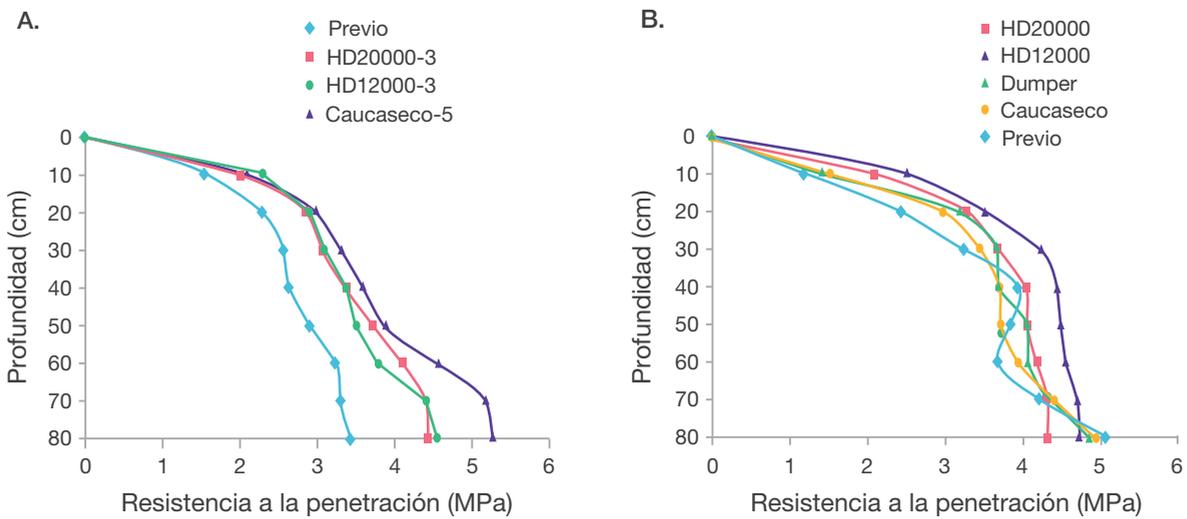


Figura 15. Resistencia a la penetración según equipo de cosecha: cosecha semi mecánica (A), cosecha mecánica (B).

Transporte de la caña

La caña es transportada en trenes compuestos por un tractor o una tractomula que hala un conjunto de vagones. 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 hay la tendencia a utilizar este último medio aun en distancias cortas (Amú, 2010).

Los vagones de transporte HD12000 y HD20000 son los más usados. 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 16). Los trenes se conforman con cuatro o cinco de estos vagones que suman una longitud total entre 48 m y 54 m. Para el transporte

con tractomula también se usan los vagones HD30000, que son cargados por vagones de autovolteo en los sitios acondicionados para ese fin (Figura 17). Una tractomula normalmente transporta tres vagones HD30000 (Torres et al., 2009).

Desde 2010, Cenicaña desarrolló y promovió el uso de vagones de mínimo peso (Figura 18) 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 cantidad 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 (Cenicaña, 2011).

Estos desarrollos han permitido evolucionar de relaciones carga/acero de 1.9 para los vagones HD20000 a 2.8 para los vagones HD32000, un avance en la búsqueda de transportar más caña con menor cantidad de acero (Cuadro 4).



Figura 16. Vagones de transporte tipo HD20000.



Figura 17. Vagones de transporte tipo HD30000.



Figura 18. Vagón de transporte de mínimo peso tipo HD24000.

Cuadro 4. 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

Este tipo de vagones, que se cargan con autovolteo y que se usan únicamente para el transporte 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 volumétrica 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.

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

- Disminución del costo de llantas porque utilizan llantas camioneras en lugar de llantas agrícolas.
- Menor exigencia de mantenimiento de los equipos por menores esfuerzos y menos 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 daño 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 transportada en comparación con el sistema de cargue directo (Cenicaña, 2011).

Logística de cosecha en los patios de caña

Como se mencionó antes, el centro de operaciones de la cosecha es el patio 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 transporte se consideran las siguientes variables:

Capacidad de transporte en toneladas por tren (t/viaje) según tipo de vehículo, el diseño del vagón y el sistema de cosecha utilizado. En Colombia, como se mencionó, para halar el tren de vagones se utilizan mayormente trac-

tomulas (más del 90%) y para el resto se usa el tractor. Las toneladas por viaje varían entre 50-60 t si la caña es larga y entre 80-120 t si la caña es picada. El Ministerio de Transporte regula el número máximo de vagones que conforma el tren, ya sea que lo halle una tractomula o un tractor, y su operación está sujeta al permiso del Instituto Nacional de Vías (Invías), que debe renovarse 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 2 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. El ingreso de caña al patio de caña de los ingenios 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 ingenio, mientras que la molienda tiende a ser continua. Debido a estos factores aleatorios que perturban el suministro de caña al patio para garantizar su flujo continuo a la fábrica, es necesario mantener ciertas existencias de caña en el patio. Al igual que otras variables de los procesos de la agroindustria, este inventario de caña depende de cada ingenio; 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 frentes a distancia menor que 4 km es parte del inventario. De otra parte, para evitar tiempos perdidos de los vehículos de transporte, los inventarios de caña en el patio se almacenan en vagones adicionales a los del tren de transporte, que se desenganchan llenos en el patio o vacíos en los frentes, para optimizar el transporte. A este conjunto de vagones se les denomina ‘trenes de avance’.

Indicadores de gestión de la logística de cosecha

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 herramientas sistematizadas y esquemas de levantamiento y suministro de información en tiempo real.

Los indicadores de gestión de la logística de cosecha se describen a continuación.

Tiempo de ciclo de los vehículos de transporte

Es la suma resultante de cuatro actividades: tiempo de viaje del equipo vacío al frente de cosecha, 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 promedio 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 determinado y el tiempo calendario de dicho periodo.

Tiempo perdido en los frentes de cosecha 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: desde el momento de la quema o el corte de la caña (lo que primero ocurra) y el momento de la molienda; entre la quema y el corte; entre el corte manual y el alce o entre el corte mecánico y el llenado de los vagones de transporte; entre el llenado de los vagones y su llegada a la báscula; y el tiempo en el patio antes del descargue a las mesas de recepción de caña (Amú, 2010).



Conclusiones y recomendaciones

La cosecha de la caña de azúcar en el valle de río Cauca ha evolucionado hasta llegar al 74% del área con corte mecanizado en el 2023, cuando la práctica de quema programada se realizó en el 15% del área total cosechada. Los impactos en el suelo y el cultivo han disminuido al tener equipos más livianos de autovoltteo para el cargue de la caña trozada y su posterior descargue a vagones de transporte.

El desarrollo de vagones de mínimo peso para el transporte de caña ha permitido incrementar la capacidad de carga, lo que se traduce en un aumento de la cantidad de caña entregada por viaje con igual consumo de combustible, ahorros en el coste de llantas, disminución de esfuerzos al no tener que ingresar a los lotes y una optimización de la operación logística, hasta bajar en un 11% el costo de caña transportada en comparación con el sistema de cargue directo.

Es posible que el sector agroindustrial de la caña de azúcar en el valle del río Cauca alcance niveles más altos de mecanización y para ello debe trabajar desde el diseño mismo de los campos con un enfoque que integre las necesidades de optimización del recurso hídrico y al mismo tiempo la operación logística no sólo de la cosecha sino también de las labores de cultivo.

Campos con diseños adecuados para la cosecha mecánica permiten rendimientos en las operaciones de corte y cargue superiores en un 50% a los niveles de eficiencia que se tienen actualmente. Para que esto sea una realidad a nivel general, Cenicaña trabaja de la mano con los ingenios y los cultivadores promoviendo el uso de tecnologías de agricultura de precisión a fin de lograr colinealidad de tablones, ancho adecuado de los callejones primarios, secundarios y terciarios –lo que evita pisoteos y volcamiento de los equipos–, paralelismo de los surcos y mejoramiento de las prácticas de adecuación, preparación, siembra y levante, que generen condiciones adecuadas de cultivo para una cosecha más eficiente y de calidad, con impactos mínimos, que contribuya a la sostenibilidad del sector y la región.



Referencias

- Abadía, L. A. (2010, 28 de junio – 30 junio). *Aspectos generales del alce mecánico de la caña de azúcar en el valle del río Cauca* [Conferencia]. Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar, Cali, Colombia.
- Amú, L. G. (2010). Logística de cosecha. Evaluación de tiempos y movimientos. Indicadores y control. *Revista Técnicaña*, (26), 25-30.
- Amú, L. G. (2011). *Modelo de simulación y optimización para la gestión logística del sistema de abastecimiento de caña en un ingenio sucro-alcoholero colombiano* [Trabajo de grado, Maestría en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería Industrial]. Universidad del Valle
- Asociación de Cultivadores de la Caña de Azúcar de Colombia. Asocaña. (2010). Guía ambiental para el subsector de la caña de azúcar. Recuperado (12-02-2020) de <https://www.asocana.org/documentos/2012011-62209312-00FF00%2C000A000%2C878787%2CC3C3C3%2C0F0F0F%2CB4B4B4%2CFF00FF%2CFFFFFF%2C2D2D2D%2CB9B9B9.pdf>
- Cortés Betancourt, E., Chica Ramírez, H. A. & Peña Quiñones, A. J. (2024). *Clima y productividad de la caña de azúcar en el valle del río Cauca*. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed). *Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia*. <https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/>
- De Castro G., Mantellatto J. & Graziano P. (2015). *Avaliação da colheita mecanizada. Desempenho de colhedoras de cana-da-acúcar*. En: G. De Castro, M. Tufaile y R. Pereira. *Procesos Agrícolas e Mecanização de Cana de Acucar*, pp. 357-362). Jaboticabal, Brasil: CASE IH Agricultural.
- Erazo Mesa, E., García Cortés, C.E. & Herrera Rozo, F.A. (2016). *Design and implementation of real time kinematic network for the sugarcane industry in Colombia*. Chiang Mai, Thailand: ISSCT En: XXIX Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists. Proceedings. 5-8 December, 2016. p.59. Chiang Mai, Thailand.
- Estrada A., Isaacs C., Gómez A., Rosero J. Cabal P., Escobar E. & Reyes J. (2012, 12 de septiembre – 14 de septiembre). *Evaluación económica de un sistema de transporte de caña troceada con vagones de mínimo peso de descarga lateral* [Ponencia]. Congreso ATALAC – TÉCNICAÑA 2012, Cali, Colombia.
- 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. & Calvo W. (2009, 16 de septiembre – 18 de septiembre). *Evaluación técnica y económica del sistema de autovolteo vs. cadeneo con vagones HD 20000* [Ponencia]. VIII Congreso Tecnicaña, Cali, Colombia.
- Larrahondo J. (2002). *Pérdidas de sacarosa entre cosecha y molienda. Informe Final Colciencias*. Cenicaña
- Morales A., Chica H., Arango R. & Restrepo M. (2015, 16 de septiembre – 18 de septiembre). *Sistema de corte manual de caña de azúcar con machete australiano en Ingenio Mayagüez S.A.* [Ponencia]. X Congreso Tecnicaña, Cali, Colombia.
- Peña Quiñones, A. J. & Valencia Arbeláez, J. A. (2024). *Factores determinantes del clima en la región productora de caña de azúcar del valle del río Cauca*. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed). *Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia*. <https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/>
- Preciado Vargas, M. & Peña Quiñones, A. J. (2024). *Flujo del aire en superficie en la región productora de caña de azúcar del valle del río Cauca*. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed). *Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia*. <https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/>
- Quevedo Amaya, Y. M., Cepeda Quevedo, A. M. & López Murcia, M. A. (2023). *Fisiología aplicada a la producción de la caña de azúcar en Colombia*. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed). *Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia*. Cenicaña. <https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/>
- Ripoli T. (1996). *Ensaio & certicacao de maquina para colheita de cana-de-acucar*. En: L. Mialhe, Máquinas agrícolas: ensaios & certicacao, pp. 635-673). Piracicaba: Fundacao de Estudos “Luiz de Queiroz”.
- Sandoval Pineda, J. F. & Villegas Trujillo, F. (2023). *Uso de maduradores en caña de azúcar*. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed). *Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia*. Cenicaña. <https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/>
- Torres J., Villegas F., Durán A. & 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*. Cenicaña.



LOS AUTORES

Luis Guillermo Amú Caicedo

Ingeniero Industrial y magíster en Ingeniería Industrial con énfasis en Logística y Producción de la Universidad del Valle. Lean Expert del Lean Institute Colombia. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el sector azucarero en las áreas de logística, cosecha manual y mecánica de caña, procesos agrícolas y transferencia de tecnología en empresas como Cenicaña y Manuelita S.A.. Conferencista en congresos y seminarios nacionales e internacionales. Actualmente se desempeña como gerente de Campo y Cosecha en el Ingenio Manuelita, en donde también desempeñó los cargos de jefe de Logística de Cosecha, gerente de Cosecha y gerente de Campo. En Cenicaña fue el coordinador del proyecto CATE en su etapa inicial.

Alejandro Estrada Bedón

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 en 2008 a Cenicaña como ingeniero investigador en el macroproyecto CATE (fases I y II), donde trabaja en estudios y caracterización de tiempos y movimientos del sistema de corte de caña, alce, transporte y entrega en fábrica, apoyo en el desarrollo de nuevos equipos de cosecha y transporte, optimización de la cadena de abastecimiento de caña en los ingenios colombianos y estimación económica de las diferentes actividades del sistema de cosecha y transporte de caña.

Luis Armando Abadía Rizo

Ingeniero Industrial, Universidad Autónoma de Occidente en Cali. Especialista en Productividad y Control de la Producción con 30 años de experiencia en investigación, operación, desarrollo, dirección y capacitación en sistemas de cosecha de caña de azúcar semi-mecanizados y empleando cosechadoras mecánicas. Mejorador de sistemas mecánicos de la cosecha mecánica en Colombia y otros países, con énfasis en calidad de cosecha, menor pérdida de sacarosa entre cosecha y molienda y control de calidad de indicadores operativos, a fin de reducir la materia extraña y el deterioro de la caña. Especialista en modelos de transporte de caña de azúcar utilizando herramientas ingenieriles y administrativas que minimizan el costo final; creador de la Torre de Control y Logística en Central Castilla S.A., primera en el sector. Expositor y conferencista nacional e internacional, asesor en el macroproyecto CATE (fase II) de Cenicaña, 2022-2023. Dedicado a la capacitación magistral, asesoría y consultoría agrícola y mantenimiento mecánico, logística operacional, elaboración de planes de formación en ingenios azucareros, incluida la mecanización en labores agrícolas y el desarrollo de Escuelas Técnicas de Formación de personal operativo de cosecha, campo y mantenimiento mecánico agrícola.

Samuel Andrés Galeano Patiño

Ingeniero Agroindustrial egresado de la Universidad San Buenaventura en 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 "Alternativas de mejora para el sistema de abastecimiento de caña a fábrica" en el Ingenio María Luisa. Entre 2006 y 2008 fue investigador 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". De 2009 a 2022 trabajó en la industria azucarera dirigiendo operaciones de Campo y Cosecha, donde se logró la mejora continua de los procesos con 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 coordina el 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 la sostenibilidad de la agroindustria.

Héctor Alberto Chica Ramírez

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 estadística de cultivos en el sector cafetero y azucarero en empresas como Cenicaña y Cenicaña. Conferencista en congresos y seminarios nacionales e internacionales. Actualmente se desempeña como jefe del Servicio de Analítica de Cenicaña y en funciones de optimización matemática y formulación de proyectos encaminados a la modelación matemática de cadenas de abastecimiento.

Henry Bladimir Tarapues Ipial

Ingeniero Mecánico en 2019 de la Universidad del Valle, Colombia. En 2023, en la misma institución, es candidato para obtener el título de maestría en Ingeniería con énfasis Ingeniería Mecánica. Vinculado al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, Cenicaña, 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 mecánicos; evaluación y análisis de falla de sistemas mecánicos; implementación de técnicas de monitoreo asociadas a las condiciones de maquinaria, metodologías de confiabilidad y sistemas gerenciales para su mantenimiento, de acuerdo con las características organizacionales y soportadas en la normativa internacional vigente.



Cosecha y
transporte de la
caña de azúcar

www.cenicana.org