

Atagua



Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala

1ra. EDICIÓN

2026



www.atagua.org





Uniformidad en la Maduración

**Aumenta la
concentración
de azúcar**



**No tiene
efecto
residual**



**Cuenta con LMR
de exportación**



Distribuido por



Junta Directiva

Dr. Gerardo Espinoza	Presidente	Cengicaña
Ing. Gustavo Ralda	Vicepresidente	Pantaleón
Ing. Raisa Vega	Tesorera	Cengicaña
Ing. Fabricio Alvarado	Protesorero	Pantaleón
Ing. Mario Sagastume	Secretario	Cengicaña
Ing. Raul Barneond	Prosecretario	Palo Gordo
Ing. Wilintón Hernández	Vocal I	La Unión
Licda. Jenifer Muralles	Vocal II	Santa Ana
Ing. Percy Lara	Vocal III	Particular
Ing. Fernando Morales	Vocal IV	San Diego

Contenido

Artículo de Campo

"Innovación y tecnologías aplicadas al diseño del campo en el cultivo de caña de azúcar"

04

Artículo de Fábrica

"Optimización tecnológica de la cristalización en masa C y su impacto sobre la eficiencia industrial"

17

Campeonato de voleibol
Atagua 2026

29

Gira de Campo

31

Curso Virtual

Drones en la agricultura

34

Estimado asociado:

Iniciamos este nuevo año 2026 con un renovado compromiso hacia la excelencia técnica. En ATAGUA, visualizamos con mucho énfasis el fortalecimiento de nuestras capacidades mediante un programa integro de capacitación, que incluye giras de campo, seminarios especializados en agricultura, sostenibilidad y el área agroindustrial.

En esta edición de nuestra revista, presentamos dos temas de vital importancia técnica:

- *Optimización tecnológica de la cristalización en masa C y su impacto sobre la eficiencia industrial.*
- *Innovación y tecnologías aplicadas al diseño de campo en el cultivo de caña de azúcar.*

Aprovechamos este espacio para agradecer profundamente a los autores de cada uno de los artículos incluidos; estamos seguros de que su aporte tendrá un impacto positivo en la producción de caña. Invitamos a todos nuestros lectores a profundizar en estos contenidos, diseñados para impulsar la competitividad y la innovación en nuestra labor cotidiana.

En nuestro primer semestre de actividades, realizamos con éxito el campeonato de voleibol, que contó con la participación de la mayoría de los ingenios. Este evento fue fundamental para fomentar la socialización y fortalecer los lazos entre los técnicos de cada una de las empresas.

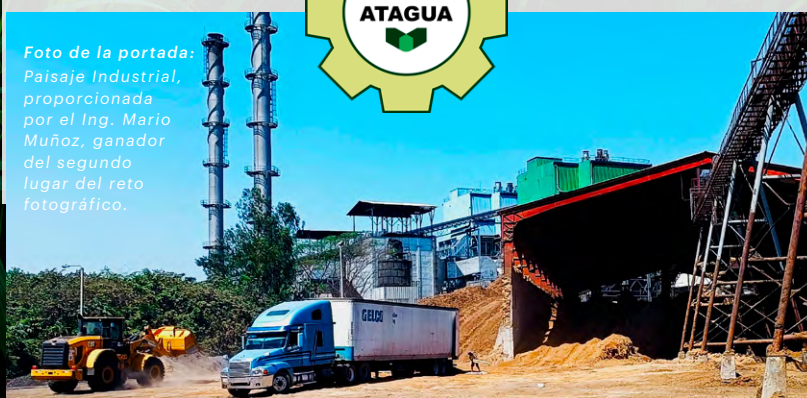
Se llevó a cabo una exitosa gira de campo, un espacio de alto valor para el intercambio de conocimientos sobre diversas tecnologías: control de malezas, sistemas de riego, siembra con tecnologías avanzadas y el uso de drones para la aplicación de productos de protección vegetal. Queremos extender un agradecimiento especial al Ingenio Pantaleón por su invaluable apoyo en las demostraciones técnicas, así como a cada uno de los participantes y, sobre todo, a las diversas empresas participantes, quienes son el pilar fundamental de este tipo de eventos.

Es un orgullo destacar el reciente curso de drones realizado en junio, el cual fue un éxito rotundo gracias a la alta demanda recibida. Como representante de ATAGUA y en nombre de la Junta Directiva, no me queda más que agradecer sinceramente a cada uno de nuestros integrantes por su constante colaboración y valioso apoyo técnico, pilares fundamentales para el avance de nuestra industria.

Mirando hacia el futuro, extendemos una invitación especial a participar activamente en la organización del Congreso Mundial de la Caña de la ISSCT 2028. La Junta Directiva de ATAGUA asume con responsabilidad el reto de presentar un congreso de altura mundial, mostrando las mejores tecnologías que consolidan a Guatemala como uno de los países más importantes en la producción de caña a nivel global.



Foto de la portada:
Paisaje Industrial,
proporcionada
por el Ing. Mario
Muñoz, ganador
del segundo
lugar del reto
fotográfico.



Km. 92.5 Carretera al Pacífico
Sta. Lucía Cotzumalguapa,
Escuintla - Guatemala

(502) 5517-3978 / (502) 4295-4828

administracion@atagua.org

Secretaria@atagua.org

ARTÍCULO DE CAMPO

Innovación y tecnologías aplicadas al diseño de campo en el cultivo de caña de azúcar

Por:

Sabina Triquez, Víctor Hernández, Byron Aquino, Wilintón Hernández y Guillermo Méndez

- Superintendencia de Taller, Departamento de Geomática, Ingenio La Unión — Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, C.A.



- *Diseño de campo*
- *Agricultura de precisión*
- *GNSS RTK*
- *LIDAR*
- *Drones fotogramétricos*
- *Caña de azúcar*
- *Sistemas de Información Geográfica*

R E S U M E N

El diseño de campo es una actividad estratégica para la producción sostenible de caña de azúcar que integra información topográfica, agronómica y geoespacial para optimizar los recursos productivos y mejorar la eficiencia de las operaciones agrícolas.

En Ingenio La Unión, su evolución ha sido impulsada por tecnologías de agricultura de precisión: sistemas GNSS RTK multiconstelación, drones fotogramétricos, sensores LiDAR aerotransportados, imágenes satelitales multitemporales, Sistemas de Información Geográfica (SIG), software especializado y plataformas de guiado automático. La integración de estas herramientas ha optimizado drenaje, riego, infraestructura agrícola y conservación de suelo y agua, permitiendo además ejecutar labores con precisión centimétrica, reduciendo traslapes, consumo de combustible, costos operativos y variabilidad en campo.

I N T R O D U C C I Ó N

El diseño de campo en caña de azúcar ha experimentado una transformación sustancial mediante la incorporación de tecnologías de agricultura de precisión, sistemas geoespaciales y automatización agrícola, que permiten optimizar operaciones mecanizadas, mejorar el aprovechamiento del terreno y fortalecer la sostenibilidad agrícola (Gebbers & Adamchuk, 2010; Zhang et al., 2002).

En Ingenio La Unión, el proceso inició con herramientas convencionales (teodolitos, cintas métricas, niveles de precisión y planos físicos). La incorporación posterior de estaciones totales, GPS de navegación y software CAD digitalizó progresivamente los procesos topográficos. A partir de 2014 se implementaron tecnologías GNSS RTK biconstelación y drones, mejorando considerablemente la precisión en levantamientos y generación de proyectos agrícolas.

Desde 2024, el uso de AgroCAD, QGIS y ArcGIS se combina con drones fotogramétricos RTK sin puntos de control, apoyados en ocho estaciones GNSS multiconstelación permanentes. En ese mismo año se introdujeron sensores LiDAR aerotransportados en drones, innovación que revolucionó la obtención de información topográfica de alta resolución con precisión centimétrica en la agroindustria azucarera guatemalteca.

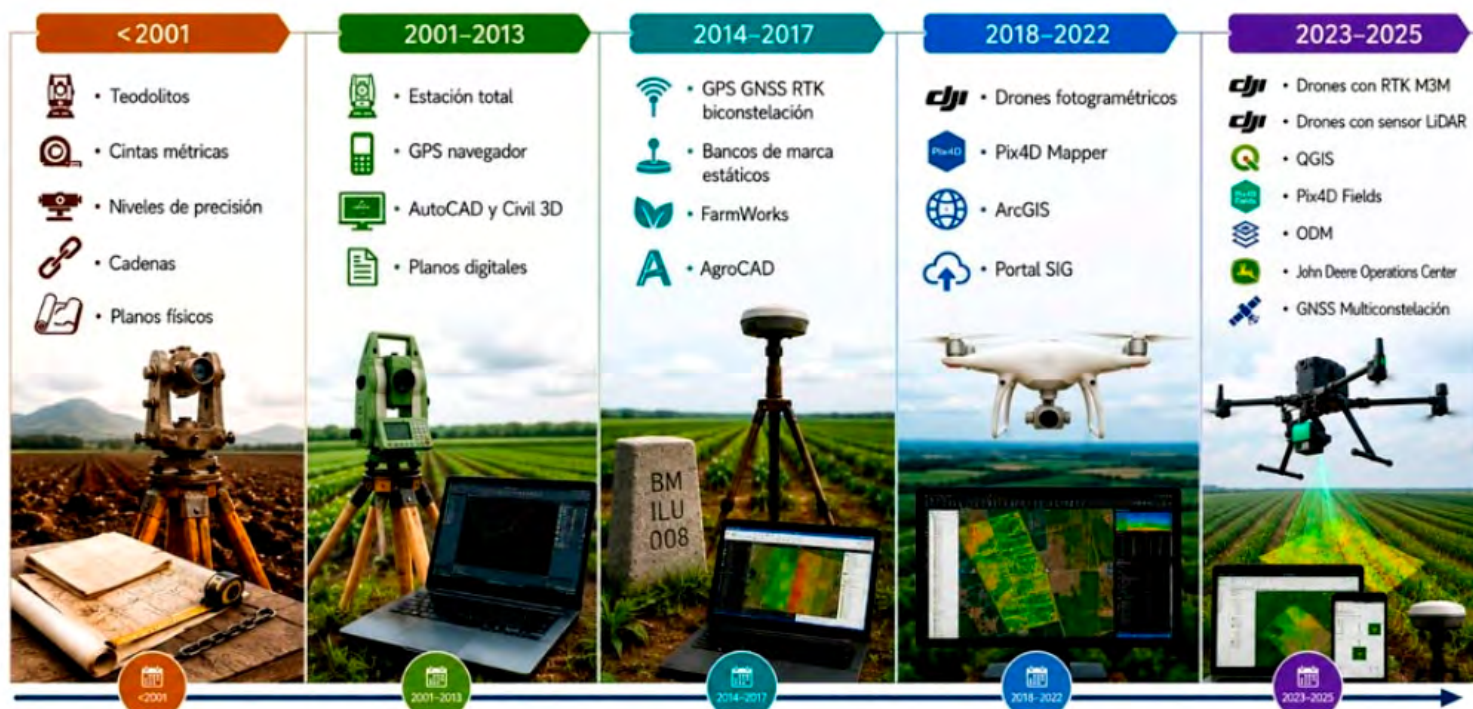


Figura 1: Evolución tecnológica del diseño de campo en Ingenio La Unión (2001-2025)

Elaboración propia, Geomática – SIG ILU

MARCO CONCEPTUAL

Diseño de Campo en Caña de Azúcar

El diseño de campo es una etapa fundamental en la renovación y establecimiento del cultivo de caña de azúcar. Integra actividades técnicas para planificar, organizar y acondicionar las áreas agrícolas, maximizando la productividad y la eficiencia mecanizada a partir de información topográfica, agronómica y geoespacial (Cock et al., 2000).

Sus componentes principales incluyen: levantamientos topográficos con GNSS RTK, drones y LiDAR; generación de modelos digitales del terreno; elaboración de planos agrícolas; diseño de drenajes, carreteras y calles; planificación de sistemas de riego; prácticas de conservación de suelo y agua; y generación de proyectos de líneas de guiado para maquinaria con piloto automático. El objetivo central es optimizar la eficiencia mecanizada, mejorar el manejo hídrico, reducir pérdidas operativas y maximizar la superficie cultivable (Lal, 2003; Mulla, 2013).

Topografía de Precisión Mediante Sistemas GNSS RTK Multiconstelación

Los sistemas GNSS RTK permiten determinar posiciones georreferenciadas en tiempo real con precisión centimétrica, integrando señales de GPS (EE.UU.), GLONASS (Rusia), Galileo (UE) y BeiDou (China), lo que mejora la disponibilidad satelital y reduce incertidumbres posicionales (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

En Ingenio La Unión, su uso inició en 2014 con equipos biconstelación. En 2024 se incorporaron receptores multiconstelación conectados a ocho estaciones geodésicas permanentes, distribuyendo correcciones mediante protocolos RTCM, CMR y NTRIP. Bajo condiciones óptimas (línea base ≤ 10 km y PDOP < 3), la red alcanza precisiones horizontales de ± 2.5 cm y verticales de ± 3.5 cm.



Figura 2: Topografía con GNSS RTK aplicada al diseño agrícola

Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

Fotogrametría con Drones RTK

La fotogrametría con drones permite obtener información geoespacial de alta resolución mediante imágenes aéreas georreferenciadas procesadas con técnicas de fotogrametría digital, generando ortomosaicos, Modelos Digitales del Terreno (MDT), curvas de nivel, mapas de pendiente y análisis de escorrentía (Nex & Remondino, 2014).

Los vuelos se realizan entre 80 y 120 m sobre el terreno con traslapes longitudinales y transversales próximos al 75%. La evolución en Ingenio La Unión abarcó desde plataformas DJI Phantom e Inspire hasta el DJI Mavic 3 Multispectral con GNSS RTK, mejorando la precisión posicional y reduciendo la dependencia de puntos de control en tierra.

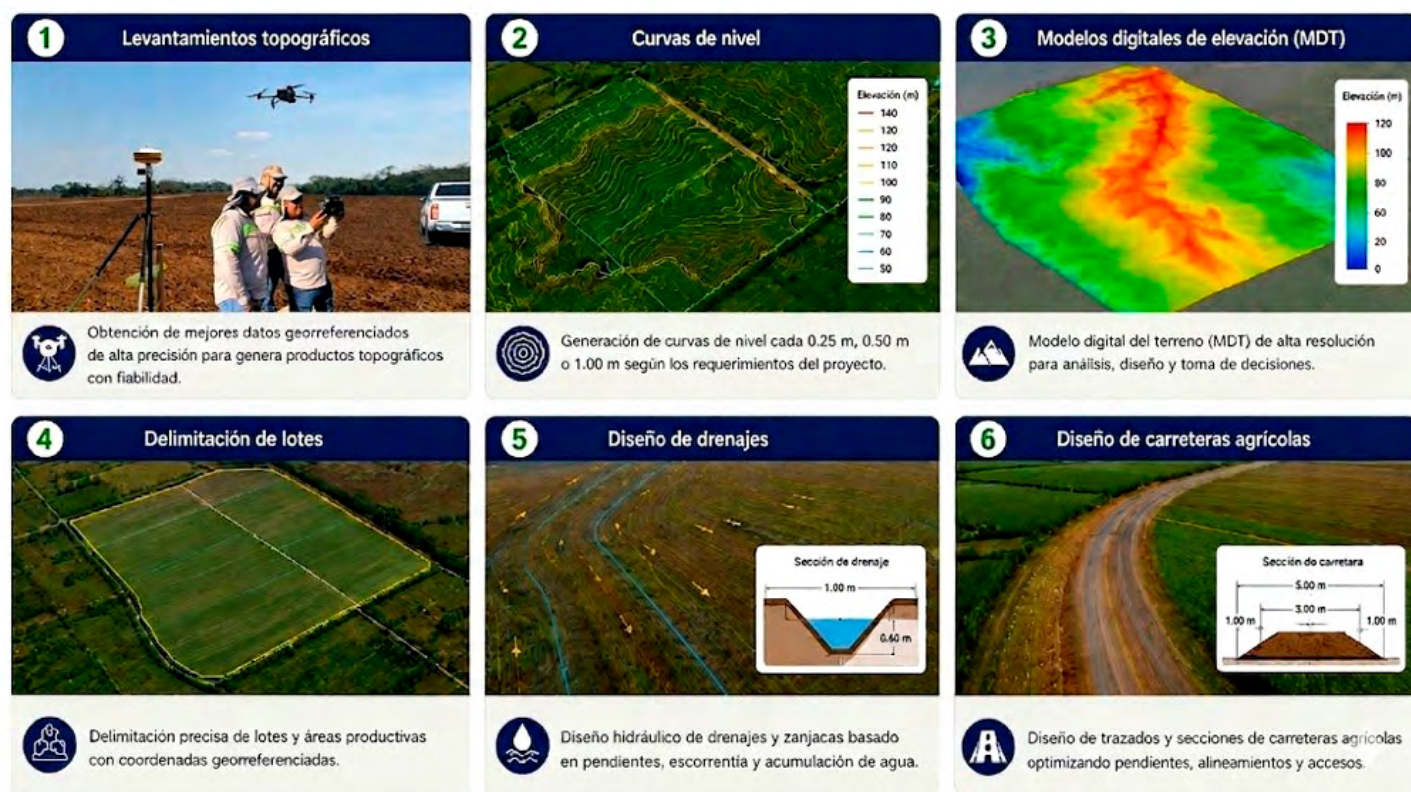


Figura 3: Topografía con drones aplicada al diseño agrícola

Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

Tecnología LiDAR Aerotransportada mediante Drones

Desde 2024, Ingenio La Unión implementó tecnología LiDAR mediante drones DJI Matrice 350 RTK con sensor L2. Esta tecnología activa emite hasta 240,000 pulsos láser/s (modo retorno simple) y hasta 1,200,000 pulsos/s (retornos múltiples), generando densidades de puntos de 15 a 50 puntos/m² según la altitud y cobertura vegetal (DJI, 2023). Su ventaja diferencial es la capacidad de penetrar la vegetación y registrar la superficie del suelo, superando las limitaciones de la fotogrametría convencional (Wehr & Lohr, 1999).

Sus principales aplicaciones en diseño de campo incluyen:

- Generación de MDT y Modelos Digitales de Superficie (MDS) de alta precisión
- Identificación de microrelieves, depresiones y zonas de acumulación de agua
- Análisis de pendientes y determinación de direcciones de escorrentía
- Delimitación de cuencas y subcuencas agrícolas
- Diseño de drenajes parcelarios y sistemas hidráulicos
- Apoyo al diseño de carreteras agrícolas y estimación de movimientos de tierra

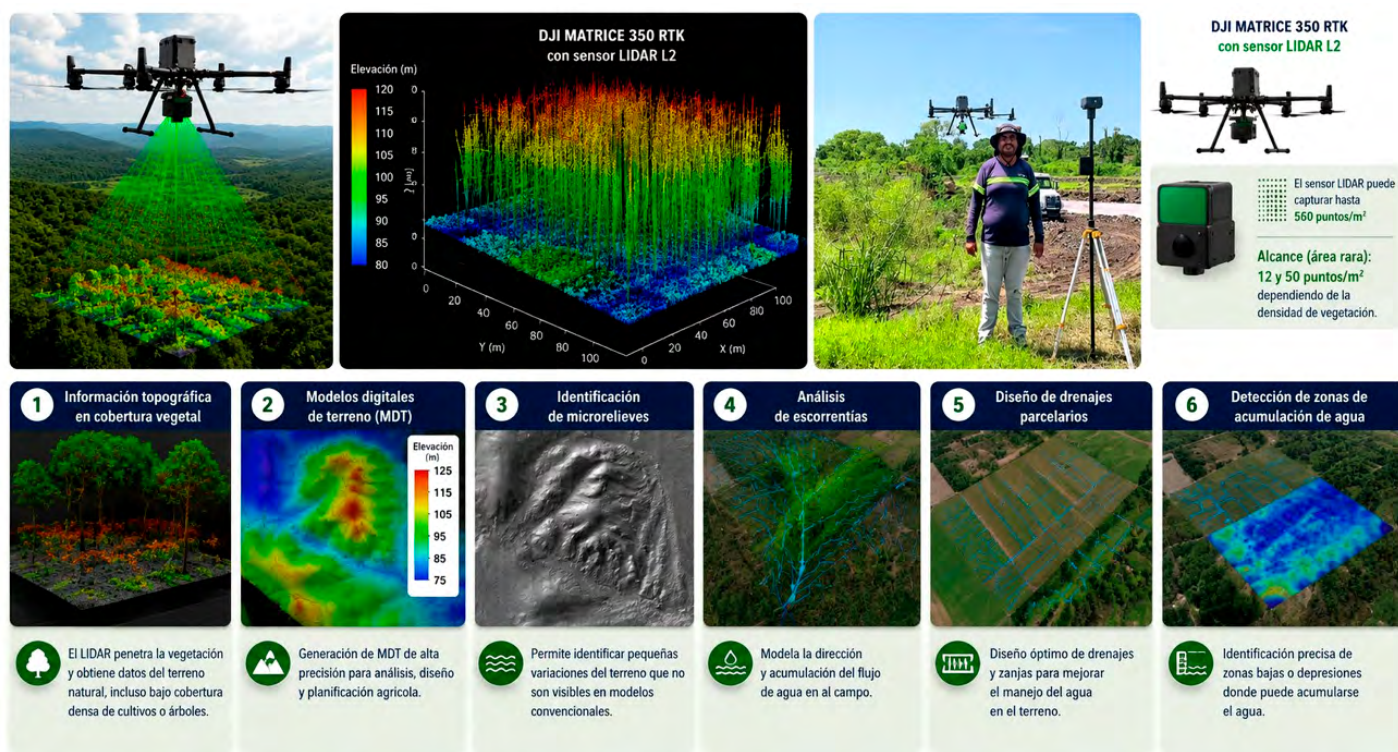


Figura 4: Topografía con drones con sensores LiDAR aplicada al diseño agrícola

Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

Software y Plataformas Digitales

El diseño de campo integra un ecosistema de software especializado para transformar datos geospaciales en información estratégica:

- *AgroCAD: diseño de surcos, optimización de líneas de trabajo y generación de proyectos para sistemas de guiado y piloto automático.*
- *AutoCAD Civil 3D: diseño de infraestructura agrícola (drenajes, carreteras, canales, nivelaciones) mediante modelos digitales del terreno.*
- *ArcGIS / QGIS: administración, análisis y visualización geográfica; mapas temáticos, análisis de pendientes y modelaciones hidrológicas.*
- *Pix4D Mapper / OpenDroneMap (ODM): procesamiento fotogramétrico para ortofotos, MDT, curvas de nivel y nubes de puntos.*
- *John Deere Operations Center: transferencia de líneas de guiado, gestión de operaciones mecanizadas y monitoreo en tiempo real.*
- *Imágenes satelitales (Sentinel / Planet): monitoreo multitemporal y análisis del comportamiento hidrológico de fincas.*

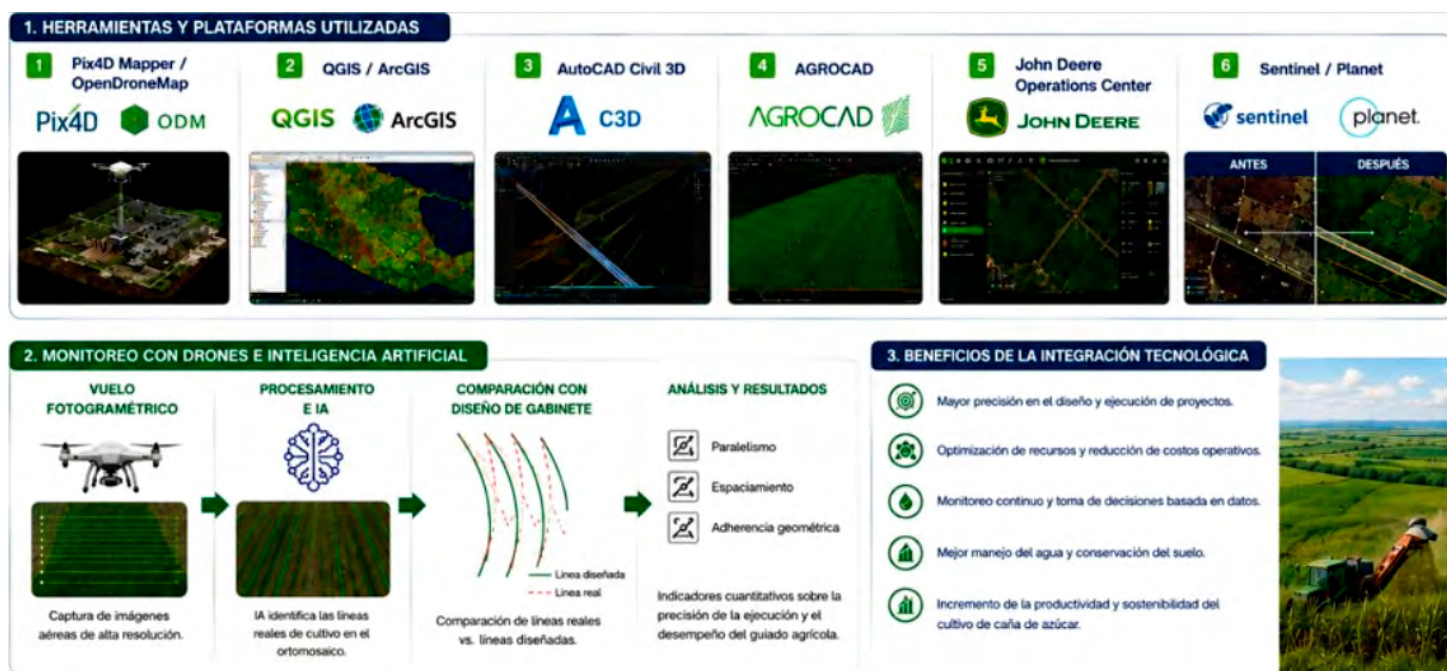


Figura 5: Softwares utilizados en diseño de campo

Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

Integración con Sistemas de Piloto Automático

Los diseños optimizados generados en AgroCAD se exportan a plataformas de guiado (Pro700, XCN 1050, sistemas John Deere) para su ejecución con precisiones de ± 2.5 cm. Esta integración garantiza alta precisión en surcado, siembra, fertilización, drenajes, calles y cosecha, mejorando la distribución espacial del cultivo, optimizando el tránsito de maquinaria, reduciendo traslapes y consumo de combustible, y minimizando la fatiga de operadores.

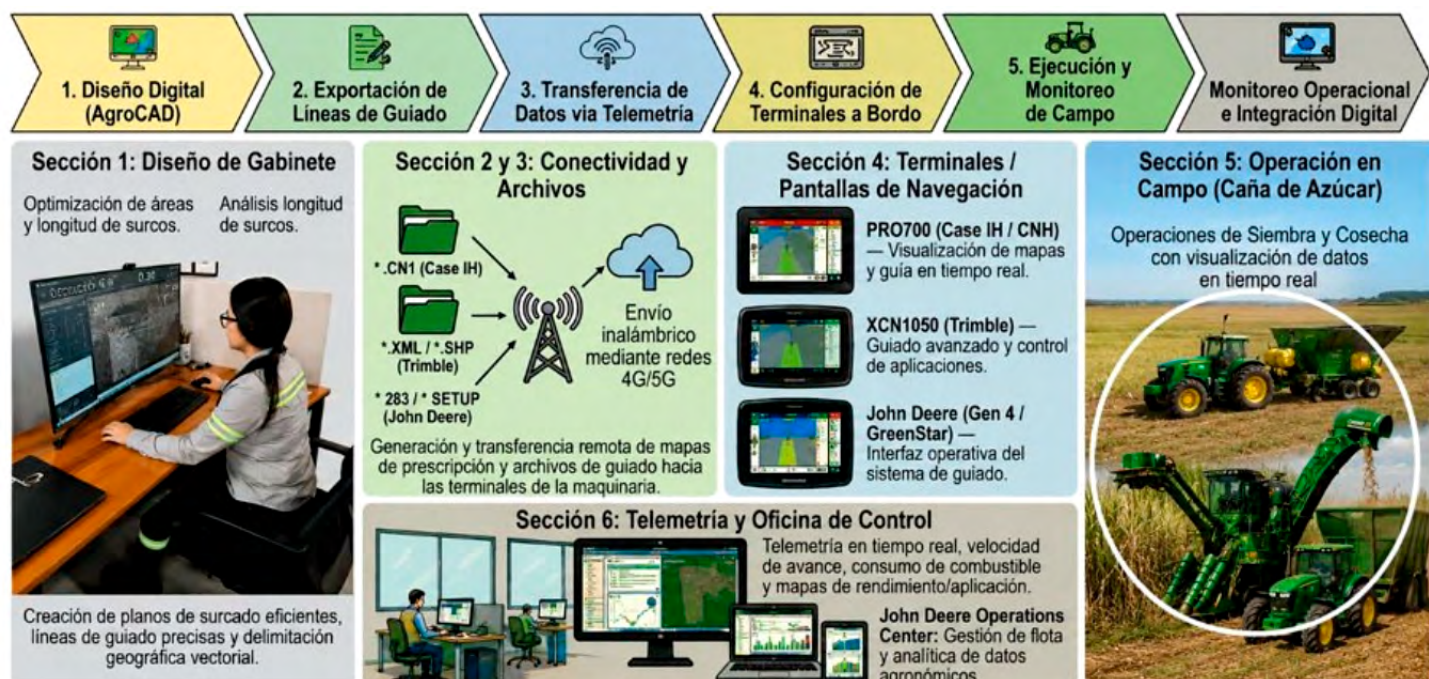


Figura 6: Integración del diseño agrícola con piloto automático

Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE CAMPO

El diseño agrícola debe adaptarse a las condiciones topográficas y edáficas de cada unidad productiva para garantizar un manejo eficiente del agua, minimizar los riesgos de erosión y optimizar la mecanización. La pendiente natural del terreno y la textura del suelo son las variables determinantes, ya que influyen directamente en la velocidad de infiltración, el comportamiento de la escorrentía y la estabilidad del terreno. Los rangos de pendiente máxima admisible se definieron con base en criterios

de control erosivo (USDA-NRCS, 2020) y evidencia experimental en caña de azúcar (Liu et al., 2025).

Pendiente Recomendada según Textura del Suelo

La textura del suelo determina la erodibilidad intrínseca y la susceptibilidad a la pérdida laminar por escorrentía. Los suelos arcillosos presentan mayor resistencia a la erosión hídrica por su cohesión entre partículas, admitiendo pendientes

de surco de hasta 1.0% sin riesgo significativo de pérdida de suelo. En contraste, los suelos arenosos tienen alta erodibilidad intrínseca, por lo que la pendiente máxima debe limitarse a 0.05–0.3%. El Cuadro 1 presenta los rangos recomendados por grupo textural:

Textura del suelo	Pendiente máxima admisible (%) — criterio erosivo
Arcillosa	0.2 – 1.0
Franco-arcillosa	0.1 – 0.8
Franca	0.1 – 0.5
Franco-arenosa	0.05 – 0.3
Arenosa	0.05 – 0.2



Cuadro 1. Pendiente de diseño recomendada según textura del suelo para el cultivo de caña de azúcar.
Fuente: USDA-NRCS (2020), Practice Standard 464; Liu et al. (2025).

Prácticas de Diseño según Pendiente del Terreno

Las prácticas agronómicas e hidráulicas se definen en función de la pendiente natural del terreno. En terrenos con pendiente inferior al 0.5%, el diseño de surcos rectos presenta riesgo erosivo mínimo. En el rango 0.5–1.0%, la labranza en contorno es esencial; combinada con prácticas de cobertura puede reducir la producción de sedimentos hasta un 88% respecto a la labranza convencional cuesta abajo (Liu et al., 2025). En pendientes superiores al 5.0%, el riesgo erosivo supera los umbrales de tolerancia agronómica, haciendo técnicamente inviable el cultivo comercial sostenible de caña de azúcar. El Cuadro 2 resume las prácticas recomendadas:

Pendiente (%)	Práctica recomendada	Referencia
< 0.5	Surcos rectos	USDA-NRCS (2020)
0.5 – 1.0	Surcos en contorno + terrazas o barreras vivas	Liu et al. (2025); USDA-NRCS (2020)
1.0 – 5.0	Surcos en contorno + obras de conservación hidráulica	Liu et al. (2025); USDA-NRCS (2020)
≥ 5.0	No apto para riego superficial ni cosecha mecanizada	Liu et al. (2025)



Cuadro 2. Prácticas de diseño recomendadas según rango de pendiente del terreno.
Fuente: USDA-NRCS (2020), Practice Standard 464; Liu et al. (2025).

CASOS DE APLICACIÓN DEL DISEÑO DE CAMPO EN INGENIERÍA LA UNIÓN

Diseño de Drenaje Agrícola y Manejo Hidráulico de Excedentes

El diseño de drenaje parcelario en las planicies de la Costa Sur de Guatemala se fundamenta en levantamientos topográficos de alta resolución obtenidos con drones fotogramétricos RTK y la red GNSS permanente. Los MDT resultantes permiten ejecutar análisis hidrológicos en plataformas SIG para identificar microdepresiones, determinar direcciones preferenciales de escorrentía, delimitar cuencas de drenaje y dimensionar estructuras hidráulicas para el manejo eficiente de excedentes pluviales.

Desde la perspectiva de la física de suelos, el drenaje diseñado mantiene condiciones adecuadas de aireación en la zona radicular, evita la saturación prolongada del perfil y reduce los efectos de anoxia sobre el cultivo. La regulación del nivel freático favorece la conservación de la estructura del suelo, mejora la macroporosidad efectiva y disminuye los riesgos de compactación por tránsito de maquinaria pesada durante la época lluviosa.

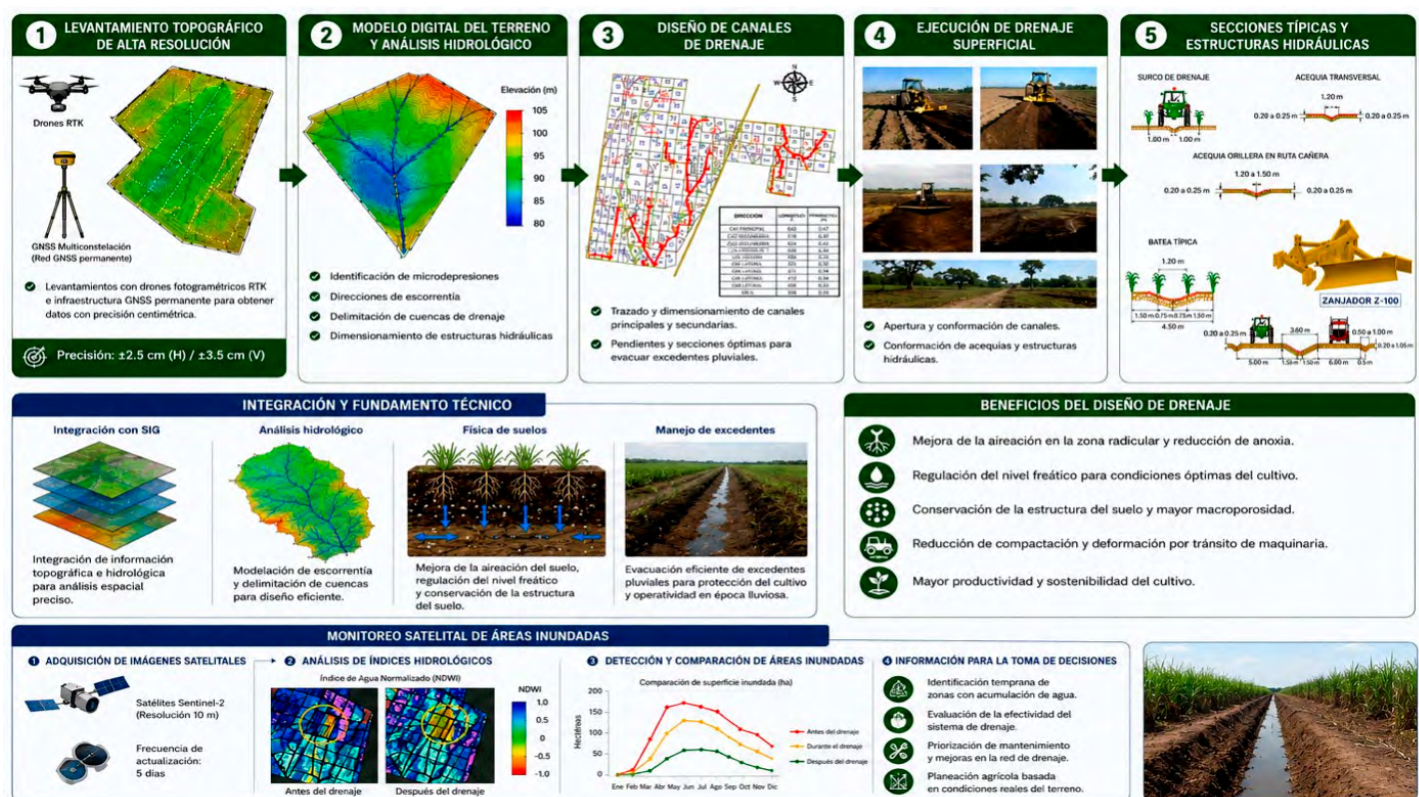


Figura 7. Diseño de drenaje agrícola y manejo hidráulico de excedentes: topografía de precisión y análisis hidrológico para un drenaje eficiente y sostenible

Fuente: Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

Diseño Orientado a la Cosecha Mecanizada y Tránsito Agrícola

La optimización geométrica de las unidades productivas se desarrolla en AgroCAD, integrado con sistemas de agricultura de precisión y John Deere Operations Center, permitiendo que los diseños sean utilizados directamente por los sistemas de guiado automático de cosechadoras, tractores y equipos de apoyo logístico.

El diseño considera criterios topográficos, operativos y logísticos para maximizar la longitud efectiva de trabajo, reducir maniobras en cabeceros y optimizar los patrones de circulación. Las correcciones GNSS RTK garantizan precisiones centimétricas, minimizando traslapes y tráfico innecesario sobre las cepas. La alineación técnica de los surcos permite disminuir correcciones de dirección durante la cosecha, facilitar labores nocturnas y reducir el consumo de combustible, el desgaste mecánico de la flota y los costos unitarios asociados.

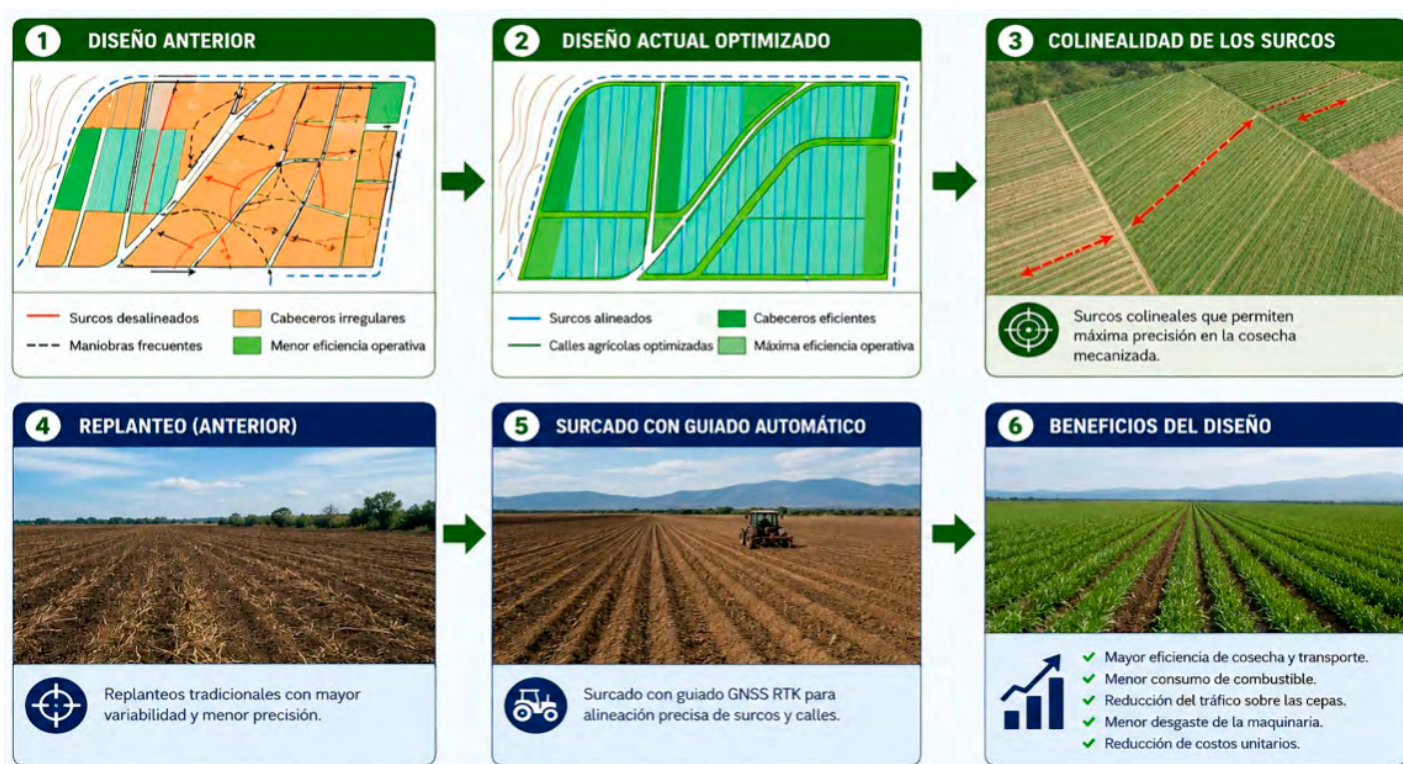


Figura 8. Diseño orientado a la cosecha mecanizada y tránsito agrícola: flujo de trabajo del diseño digital al beneficio operativo en campo

Fuente: Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

Diseño Técnico para Sistemas de Riego

La implementación de riego tecnificado parte del análisis topográfico detallado de cada unidad productiva mediante MDT obtenidos con drones RTK y GNSS multiconstelación, caracterizando con precisión centimétrica las pendientes, microrelieves y patrones de escorrentía que condicionan la planificación del riego.

Esta información permite definir la longitud y orientación óptimas de los recorridos de riego, identificar zonas de acumulación de agua, determinar la ubicación más eficiente de los puntos de suministro y prever el comportamiento hídrico ante la aplicación de agua. La integración con SIG y AutoCAD Civil 3D facilita el diseño de la infraestructura de conducción, la delimitación de áreas irrigables y la detección de sectores con limitaciones de pendiente que comprometan la uniformidad de distribución. El resultado es una reducción de la variabilidad hídrica entre lotes, mayor eficiencia de aplicación y mayor sostenibilidad productiva durante la época seca.

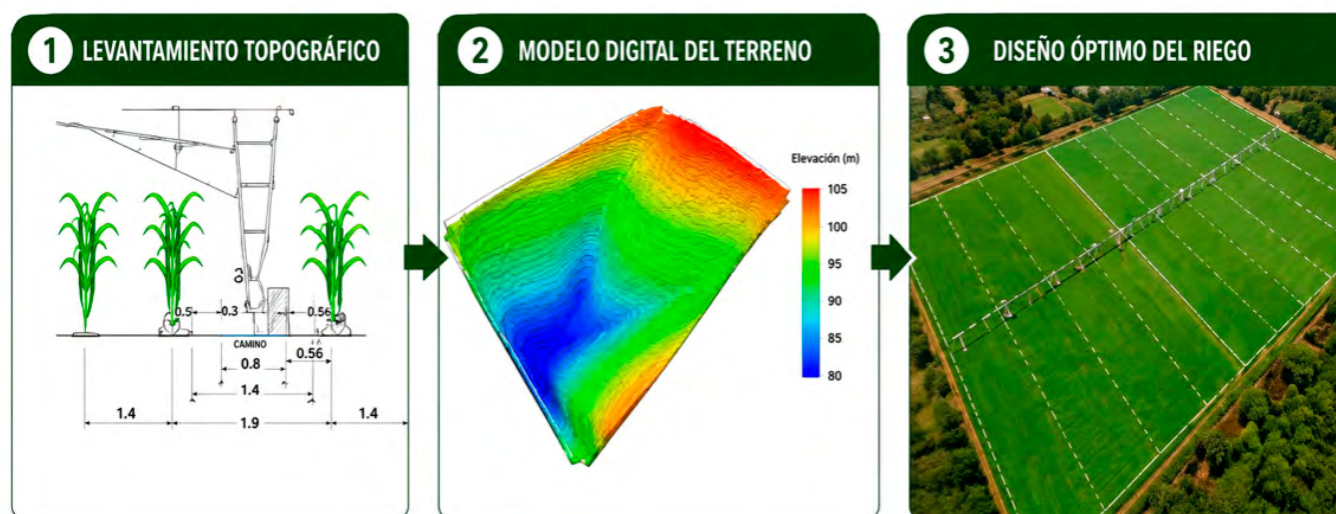


Figura 9. Diseño técnico para sistemas de riego: modelación y optimización en campo

Fuente: Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

Diseño para la Conservación Estratégica de Suelo y Agua

El diseño agrícola preventivo integra análisis topográficos de alta resolución, modelación hidrológica y SIG para identificar zonas susceptibles a erosión y definir estrategias de conservación de largo plazo. A partir de MDT de precisión centimétrica se calculan variables geomorfológicas (pendiente, curvatura del terreno, acumulación de flujo e índices topográficos de humedad), delimitando áreas con potencial riesgo de erosión hídrica superficial.

El diseño incorpora prácticas mecánicas de conservación: curvas a nivel, acequias de ladera, drenajes de alivio, bordas de retención y estructuras de control hidráulico, orientadas a reducir la longitud efectiva de pendiente y disminuir la velocidad del flujo superficial. Estas obras reducen la energía erosiva del agua, favorecen la infiltración e incrementan la recarga hídrica del perfil, contribuyendo a la conservación del Horizonte A, donde se concentra la mayor actividad biológica, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), fundamentales para la fertilidad y productividad agrícola a largo plazo.

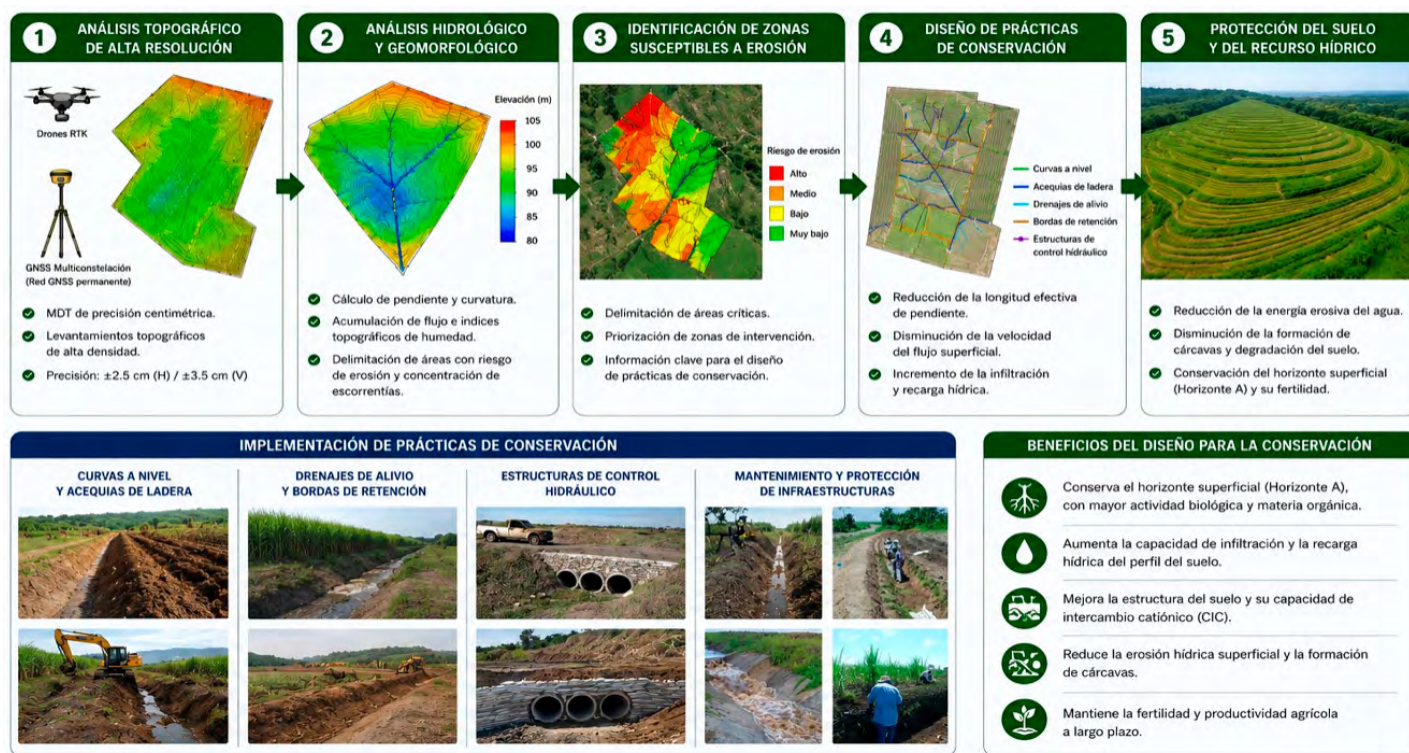


Figura 10. Diseño para la conservación estratégica de suelo y agua: análisis topográfico, hidráulico y planificación de prácticas de conservación para la sostenibilidad del cultivo

Fuente: Elaboración propia, Geomática – SIG ILU.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La integración de tecnologías geoespaciales y herramientas de agricultura de precisión ha permitido que el diseño de campo en Ingenio La Unión evolucione hacia un modelo de gestión agrícola más eficiente, sostenible y fundamentado en información técnica de alta calidad. El uso combinado de GNSS RTK, drones, LiDAR, SIG, software especializado y guiado automático ha mejorado significativamente la planificación y ejecución de las labores agrícolas.

Los resultados son consistentes con los reportados por Gebbers & Adamchuk (2010), quienes destacan que la agricultura de precisión incrementa la eficiencia en el uso de recursos y reduce la variabilidad espacial en los sistemas de producción. La precisión centimétrica del GNSS RTK ha reducido traslapes en siembra, fertilización y cosecha, mejorando la eficiencia de la superficie cultivable y disminuyendo el consumo de combustible. La tecnología LiDAR ha posibilitado, por primera vez en la agroindustria azucarera regional, generar MDT de alta densidad bajo cobertura de caña, optimizando el diseño de los sistemas de drenaje parcelario.

La integración entre diseños digitales y John Deere Operations Center ha estandarizado los procesos mecanizados y reducido la variabilidad operativa, aspectos críticos para la competitividad agroindustrial, estableciendo ingenio La Unión un precedente metodológico relevante para otras agroindustrias de Centroamérica.

P E R S P E C T I V A F U T U R A

El futuro del diseño de campo estará impulsado por la integración de inteligencia artificial, sensores remotos, drones de mayor autonomía, imágenes satelitales de alta resolución temporal y maquinaria agrícola autónoma, facilitando el monitoreo continuo de cultivos, la detección temprana de anomalías y la generación automática de recomendaciones agronómicas.

El desarrollo de gemelos digitales agrícolas —representaciones virtuales de los campos actualizadas en tiempo real desde sensores remotos y estaciones de monitoreo— permitirá simular escenarios productivos, evaluar estrategias de manejo y anticipar riesgos antes de actuar en campo. Estas herramientas transformarán el diseño agrícola en un proceso dinámico basado en datos, maximizando la productividad, reduciendo costos operativos y fortaleciendo la sostenibilidad a largo plazo.

R E F E R E N C I A S

1. Cock, J. H., Shibles, R., Spence, J. A., & Williams, C. N. (2000). Sugarcane. In E. Langer (Ed.), *Crop physiology: Some case histories* (pp. 1–42). Cambridge University Press.
2. DJI. (2023). Zenmuse L2 — User Manual v1.4. DJI Technology Co., Ltd. <https://www.dji.com/zenmuse-l2/downloads>
3. Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828–831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
4. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS — Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer.
5. Ingenio La Unión. (2024). *Criterios técnicos para el diseño de campo en el cultivo de caña de azúcar: lineamientos internos*. Departamento de Geomática y SIG, Ingenio La Unión, Santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala.
6. Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4), 437–450. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)
7. Liu, X., et al. (2025). How to plant sugarcane on sloping farmland to reduce soil erosion and nutrient loss in karst region. *Soil Science Society of America Journal*, 89, e70170. <https://doi.org/10.1002/saj2.70170>
8. Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>
9. Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
10. USDA-NRCS. (2020). *Irrigation land leveling — Conservation practice standard. Practice Standard 464*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service
11. Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning — An introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2–3), 68–82. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8)
12. Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture — A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)

ARTÍCULO DE FÁBRICA

Optimización tecnológica de la cristalización en masa C y su impacto sobre la eficiencia industrial

Por:
Raisa Vega,
Cengicaña, Guatemala
prsacarosa@cengicana.org



- Hidrolisis
- Reacción de Maillard
- Cristalización
- Eficiencia industrial

R E S U M E N

Las pérdidas indeterminadas durante la cristalización en masa C constituyen uno de los mayores desafíos para la industria azucarera, debido a la conversión de sacarosa en compuestos no cristalizables por hidrólisis y reacciones de Maillard. Este estudio tuvo como finalidad evaluar el impacto de las mejoras tecnológicas orientadas a reducir dichas pérdidas y mejorar la eficiencia de recuperación. Para ello, se implementó un seguimiento experimental durante tres zafas consecutivas, donde se efectuaron muestreos sistemáticos de meladuras y mieles, análisis fisicoquímicos de azúcares, cenizas, color y pH, y balances de masa para cuantificar pérdidas en la recuperación de sacarosa. Los resultados mostraron que la optimización del proceso de cristalización de Masa C evidenció una mejor conservación de glucosa y fructosa, menor generación de color y una mayor estabilidad del pH en las mieles de proceso. Estos cambios se tradujeron en una recuperación adicional de 1.8 kg de sacarosa por tonelada de caña, equivalente a un beneficio económico aproximado de USD \$2.5 millones por zafa. Se concluye que la optimización tecnológica aplicada ofrece una estrategia sólida para incrementar la eficiencia industrial.

I N T R O D U C C I Ó N

La problemática de las pérdidas indeterminadas en el área de cristalización ha sido históricamente una de las más complejas de abordar dentro del proceso de producción de azúcar, debido a la dificultad inherente en su determinación. Estas pérdidas no son directamente cuantificables, ya que se originan en diversos mecanismos de reacción que transforman la sacarosa en compuestos intermedios, productos coloreados o estructuras moleculares complejas. Investigaciones previas han demostrado que condiciones de operación como altas temperaturas, presencia de catalizadores y tiempos prolongados de residencia favorecen la destrucción de la sacarosa. En consecuencia, cualquier innovación tecnológica que modifique estos factores constituye una oportunidad para reducir la magnitud de dichas pérdidas.

En años recientes, el ingenio bajo estudio ha incorporado cambios e innovaciones orientados a reducir la degradación de la sacarosa en la etapa de cristalización, mediante el control más eficiente de la temperatura y tiempo de residencia de la masa C en los equipos, lográndolo a través de la modernización tecnológica de los tachos C, optimización y estabilidad de vacío en los equipos, y la mejora en el mecanismo de enfriamiento de los cristalizadores verticales. Estos cambios han permitido operar el proceso de forma estable y a temperaturas más bajas, reduciendo así las condiciones que favorecen la hidrólisis de sacarosa y la reacción de Maillard en el sistema. Este estudio busca recopilar, procesar y analizar datos técnicos que permitan comparar el desempeño del proceso antes y después de la introducción de las mejoras tecnológicas. A través del monitoreo de parámetros como temperatura, °Brix, sacarosa, glucosa, fructosa, cenizas, color, pH y balances de masa, es posible confirmar la efectividad de las acciones implementadas y cuantificar su impacto económico.

O B J E T I V O S

El objetivo general fue evaluar el impacto de la optimización tecnológica en la cristalización de masa C sobre la reducción de pérdidas indeterminadas y la mejora de la eficiencia industrial.

Objetivos específicos

1. Comparar el desempeño del proceso antes y después de la optimización mediante parámetros fisicoquímicos y balances de masa.
2. Cuantificar la recuperación adicional de sacarosa obtenida tras la implementación de mejoras tecnológicas en el sistema de cristalización.
3. Estimar el beneficio económico derivado de la reducción de pérdidas indeterminadas en el área de cristalización.

M A R C O T E Ó R I C O

Pérdidas indeterminadas en cristalización

Las pérdidas indeterminadas de toda la fábrica se calculan por el balance de masa del proceso, resultando de la diferencia entre el total de sacarosa ingresando en la caña y la sumatoria del azúcar producida y pérdidas determinadas. Las causas de las pérdidas indeterminadas son varias, en general se pueden clasificar como: aparentes, por inversión, físicas y por descomposición térmica. Lastimosamente estas se representan como un único valor dentro del reporte diario de fabricación, por lo tanto, se requieren análisis individuales en distintos puntos del proceso para lograr identificar y cuantificar las mismas. Es de importancia que estas pérdidas sean medidas y monitoreadas en cada punto y así tomar acciones sobre las mismas.

Evaluando por separado el área de cristalización, la pérdida determinada a la salida es producida por la sacarosa remanente en la miel final, mientras que las indeterminadas del proceso pueden ser por inversión (hidrólisis y descomposición térmica), físicas (arrastres) y aparentes (errores de pesaje de materiales o por mediciones analíticas incorrectas).

Reacción de hidrólisis

La hidrólisis de la sacarosa (también conocida como “inversión de sacarosa”) corresponde al rompimiento del disacárido en glucosa y fructosa. En soluciones ácidas y a temperaturas propias del proceso azucarero, la cinética suele describirse de primer orden respecto a la sacarosa, con comportamiento Arrhenius y energías de activación típicas cercanas a 107–109 kJ·mol⁻¹ (Miles, 1995). La velocidad aumenta fuertemente con la

temperatura y al disminuir el pH (mayor acidez), lo cual explica por qué tiempos de residencia prolongados en los tachos y el medio ácido, incrementan la conversión a azúcares reductores. Estos productos de inversión pueden, a su vez, participar en reacciones secundarias (caramelización a pH bajo y Maillard cuando existen compuestos nitrogenados), elevando color y afectando la conversión de la sacarosa a su forma cristalina.

En términos operativos, factores como pH, temperatura, acidez y tiempo de residencia dominan la cinética de la inversión de sacarosa (Peredo, 2017). Por ello, se buscan mecanismos operativos que reduzcan la severidad térmica y el tiempo de exposición, con el fin de mitigar la formación de azúcares reductores y, por tanto, la pérdida de sacarosa cristizable.

La inversión de la sacarosa no solo genera pérdidas directas de azúcar cristizable, sino que además produce glucosa y fructosa, los cuales constituyen azúcares reductores altamente reactivos. Estos compuestos, al interactuar con aminoácidos y otros componentes nitrogenados presentes en el medio, dan inicio a la reacción de Maillard. De esta manera, la hidrólisis no solo implica pérdidas directas de azúcar cristizable, sino que también potencia mecanismos secundarios responsables de la formación de color, compuestos no cristizables y pérdidas adicionales en el área de cristalización.

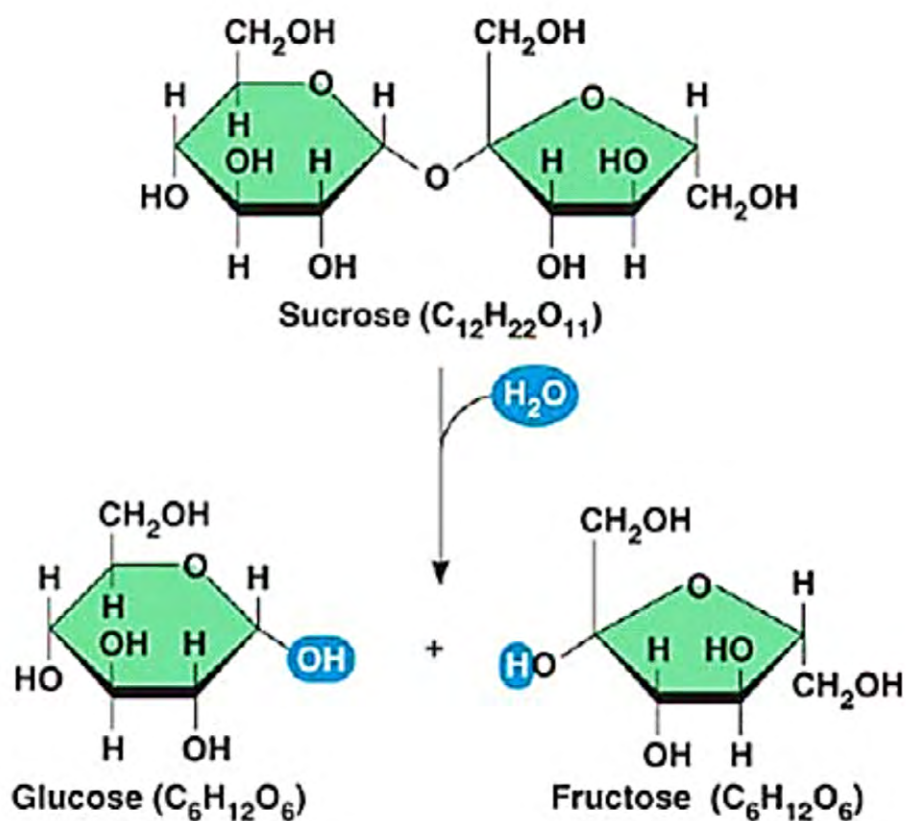


Figura 1. Hidrólisis de la sacarosa a glucosa y fructosa.

Fuente: Yakout et al., 2014.

Reacción de Maillard (reacción de descomposición térmica)

La reacción de Maillard es un conjunto de reacciones no enzimáticas entre azúcares reductores (glucosa y fructosa) y aminoácidos, que progresa desde bases de Schiff y productos de Amadori hacia una red compleja de fragmentaciones, reacciones de Strecker y polimerizaciones que forman melanoidinas (compuestos altamente coloreados) y una amplia gama de compuestos volátiles (aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, pirazinas, piroles y furanonas) (Lund y Ray, 2017). Su extensión depende de temperatura, pH, actividad de agua y tiempo (Badui, 2006).

En el proceso azucarero, la presencia de reductores generados por la inversión y compuestos nitrogenados (proteínas y aminoácidos) puede activar rutas de Maillard, aumentando color, modificando propiedades fisicoquímicas de las mieles y afectando la eficiencia de cristalización al cambiar viscosidad y composición (Vega, 2024).

Cuadro 1. Influencia de variables en la cinética de la reacción de Maillard.

Fuente: Badui, 2006.



Variable	Efecto
pH	En pH alcalino se incrementa la velocidad de reacción y alcanza un máximo a pH 10.
Temperatura	Debido a que su energía de activación es baja ($E_a = 16\text{-}30$ kcal/mol) la reacción se logra observar hasta en condiciones de refrigeración. A temperaturas elevadas la reacción se acelera. Con un incremento de 5°C en la temperatura se alcanza el doble de la velocidad de reacción.
Actividad de agua	Los alimentos de humedad intermedia son más propensos, quiere decir alimentos con a_w de 0.6 a 0.9 son los que más favorecen.
Aminoácido	El aminoácido es más reactivo en la medida en que se incrementa el tamaño de la cadena, y tenga más de un grupo amino.
Azúcar reductor	Los azúcares reductores que más favorecen la reacción de Maillard son, en primer término, las pentosas, en segundo, las hexosas; así mismo las aldosas actúan más fácilmente que las cetosas.

La cristalización de masas C ofrece un ambiente favorable para la reacción de Maillard debido a la combinación de altos contenidos de sólidos (°Brix), baja pureza, temperaturas elevadas y presencia de compuestos nitrogenados. En estas condiciones, la glucosa es el principal azúcar reductor involucrado, conduciendo a la formación de productos coloreados y no cristalizables (Newell, 1979). La reacción presenta una marcada dependencia con la temperatura, pudiendo duplicar su velocidad con incrementos de apenas 5 °C; por ello, el control térmico y el enfriamiento acelerado de las masas se constituyen en estrategias fundamentales para mitigar la reacción de Maillard durante la cristalización.

El estudio se desarrolló en las instalaciones del ingenio azucarero guatemalteco, con énfasis en el área de cristalización. Para la investigación se efectuó un muestreo controlado de mieles (meladura, mieles A, B y C), con especial atención en la sección C (masas y mieles). Con el fin de garantizar la representatividad, las muestras se recolectaron procurando mantener la correspondencia con un mismo lote de producción, apoyándose en un esquema de tiempos entre corrientes previamente establecido con el ingenio. Las muestras de masa C se obtuvieron en puntos de entrada y salida de los cristalizadores, considerando el tiempo de residencia en cada sección. En paralelo, se registraron datos operativos relevantes, tales como tiempo, temperatura y presión en diferentes etapas del proceso.

Posteriormente, cada muestra fue sometida a caracterización fisicoquímica en laboratorio. En el Cuadro 2 se presentan los análisis efectuados, los equipos empleados y los métodos analíticos utilizados.

Cuadro 2. Parámetros analizados, equipos y métodos utilizados durante la experimentación.

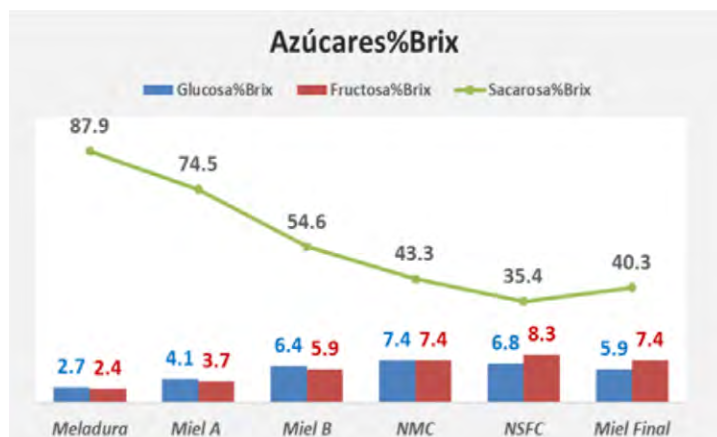
Parámetro medible	Equipo	Método empleado
Brix [%]	Refractómetro	ICUMSA GS 5/7-1
Sacarosa, glucosa y fructosa [%]	HPLC	ICUMSA GS 7/4/8-23
Ceniza [g/100 g]	Conductímetro	ICUMSA GS 1/3/4/7/8-13
Color [IU]	Espectrofotómetro	ICUMSA GS 1/3-7
pH [adimensional]	Conductímetro	ICUMSA GS1/2/3/4/7/8/9-23

El estudio comprendió tres zafra consecutivas. La primera (Zafra 1) se utilizó como línea base para caracterizar las condiciones iniciales y las pérdidas indeterminadas previas a la optimización. Las dos siguientes (Zafra 2.1 y Zafra 2.2) correspondieron al período con cambios aplicados (modernización tecnológica de los tachos C, optimización y estabilidad de vacío en los equipos y la mejora en el mecanismo del enfriamiento de los cristalizadores verticales) lo que permitió una comparación directa entre ambos escenarios y permitió confirmar que los efectos de la optimización se mantuvieron en el tiempo. Por esta razón, en los resultados se presentan únicamente los datos de la zafra de referencia (Zafra 1) y de la última zafra con modificaciones (Zafra 2), como evidencia representativa del impacto alcanzado.

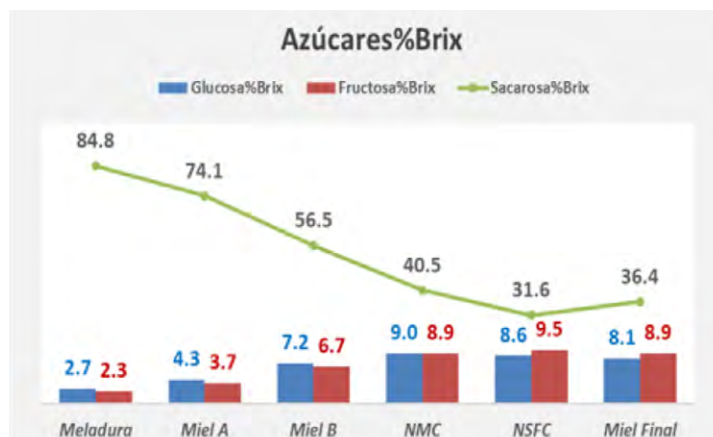
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pérdidas de sacarosa durante la cristalización en la industria azucarera representan un desafío significativo, afectando tanto el rendimiento como la calidad del producto final. Por ello, para confirmar la existencia de la hidrólisis de la sacarosa y reacción de Maillard, se evaluaron los cambios en la composición química del sistema de cristalización hasta llegar a cuantificar la pérdida de sacarosa atribuible a las reacciones mencionadas.

ZAFRA 1



ZAFRA 2



Descripción de corrientes: NMC= Nutsch Masa C y NSFC= Nutsch Salida de cristalizador.

Figura 2. Comparativo entre zafras de la evolución de la composición de azúcares (%Brix) a lo largo del proceso de cristalización.

La Figura 2 muestra el promedio de los valores sacarosa, glucosa y fructosa en relación del Brix para cada uno de los flujos de interés en el área de cristalización. La evolución de la sacarosa y los azúcares reductores a lo largo de las corrientes de cristalización mostró un comportamiento diferenciado entre la zafra de referencia (Zafra 1) y la zafra optimizada (Zafra 2). En ambos casos, se observó una disminución progresiva del contenido de sacarosa desde meladura hasta miel final, atribuible a la extracción de cristales en las etapas intermedias. Al comparar las dos zafras se observa que la reducción de sacarosa es más marcada en la zafra con mejoras, lo que refleja un agotamiento más eficiente de las mieles.

De manera paralela, los azúcares reductores (glucosa y fructosa) presentaron un incremento acumulativo a lo largo del proceso, aunque con diferencias en su proporción final a pesar de tener un ingreso en la meladura muy similar. En la Zafra 1 los valores finales fueron de 5.9% y 7.4% para glucosa y fructosa, en la Zafra 2 alcanzaron 8.1% y 8.9%, respectivamente.

Este comportamiento indica una mayor conservación de azúcares reductores en la Zafra 2, lo que sugiere que la hidrólisis de sacarosa fue menos pronunciada y, en consecuencia, se disminuyó la disponibilidad de hexosas para participar en reacciones de Maillard.

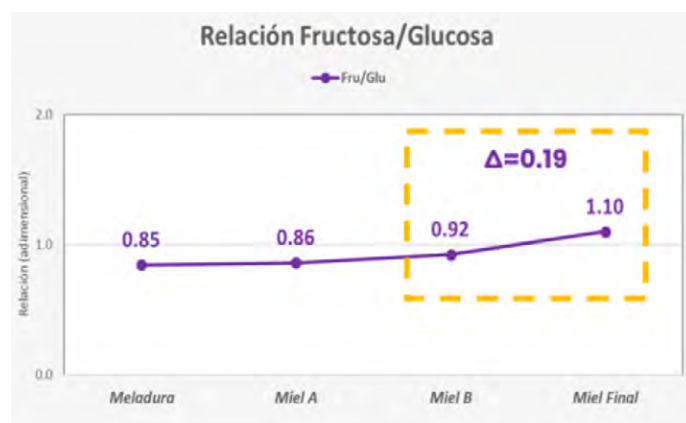
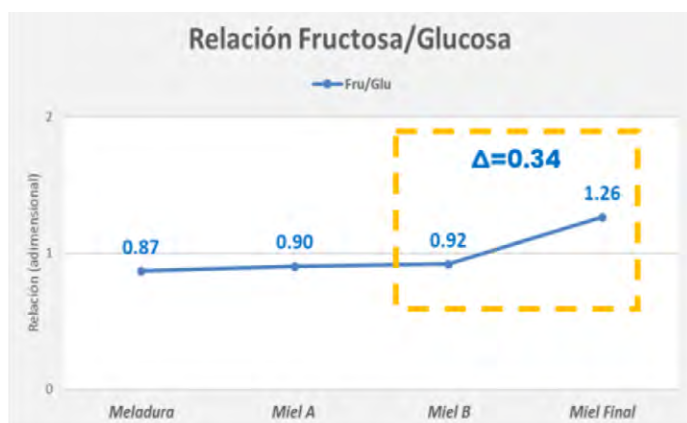
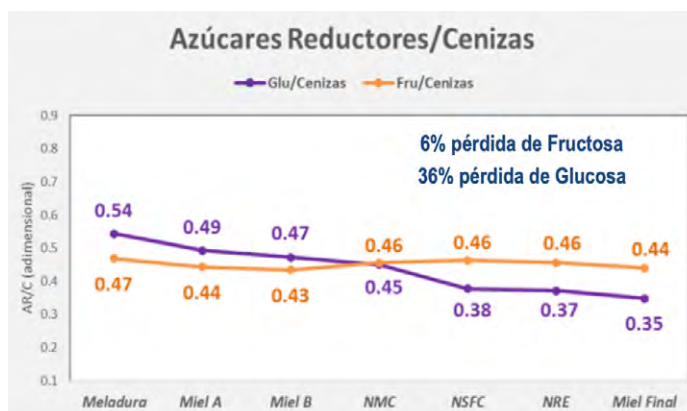


Figura 3. Comparativo entre zafras de la relación fructosa/glucosa a lo largo del proceso de cristalización.

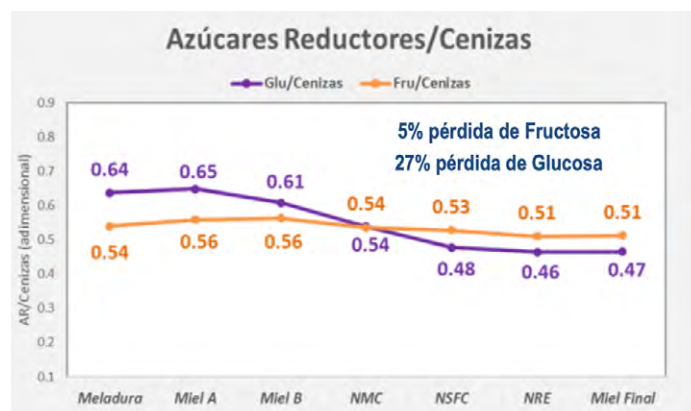
La evaluación individual de glucosa y fructosa permite analizar su relación a lo largo de las diferentes etapas del proceso (ver Figura 3). En ambas zafras, los valores iniciales en meladura fueron cercanos a la unidad, lo que refleja un ingreso equilibrado de azúcares reductores; no obstante, conforme avanzó la cristalización la relación mostró variaciones de distinta magnitud, siendo la sección de masa C la más afectada.

En la Zafra 1 la relación aumentó hasta 1.26 en la miel final, con un incremento notable entre la miel B y la miel final ($\Delta = 0.34$). Este comportamiento refleja una degradación más pronunciada de glucosa en comparación con fructosa, consistente con su mayor susceptibilidad a reacciones de Maillard, lo que resulta en un mayor porcentaje de fructosa en las corrientes finales. En contraste, en la Zafra 2 la variación fue menos marcada ($\Delta = 0.19$), alcanzando un valor de 1.10 en la miel final. Esta menor pendiente sugiere una conservación relativa de glucosa frente a la zafra de referencia, lo que indica que las mejoras tecnológicas implementadas pudieron contribuir a un entorno menos favorable para la degradación selectiva de glucosa y, en consecuencia, a una mitigación parcial de las reacciones de Maillard.

ZAFRA 1



ZAFRA 2



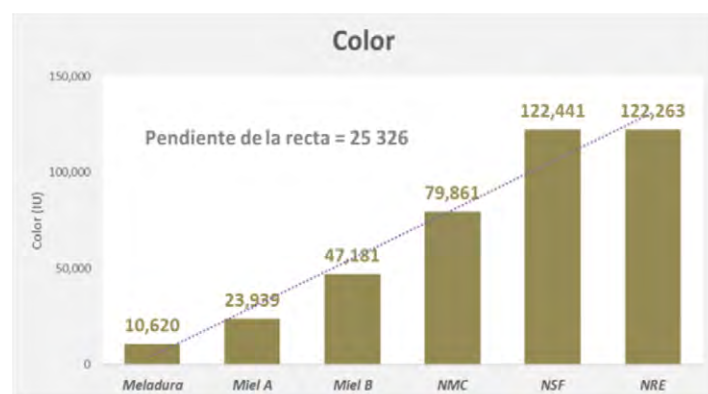
Descripción de corrientes: NMC= Nutsch Masa C, NSFC= Nutsch Salida de cristizador, NRE= Nutsch Recalentador.

Figura 4. Comparativo entre zafras de la relación azúcares reductores/cenizas a lo largo del proceso de cristalización.

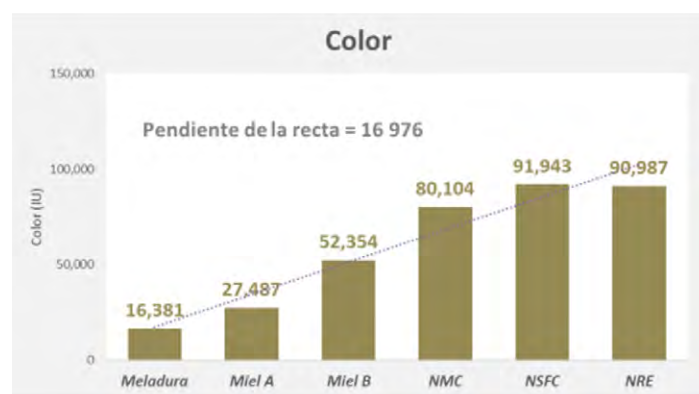
La Figura 4 muestra el comportamiento individual de glucosa y fructosa utilizando las cenizas como referencia, dado que estas permanecen prácticamente constantes en el proceso de cristalización. En ambas zafras, la fructosa se mantuvo relativamente estable, mientras que la glucosa presentó una disminución progresiva más marcada, reafirmando lo interpretado en la relación fructosa/glucosa. Esta diferencia se atribuye a la mayor susceptibilidad de la glucosa a las condiciones propias de cristalización en los tachos, siendo estas: altas temperaturas, acidez de las mieles y tiempos prolongados de residencia, lo que favorece su degradación.

En la Zafra 1 la pérdida global de glucosa alcanzó 36 %, frente a un 6 % en fructosa, lo que refleja la incidencia de reacciones de hidrólisis y Maillard. En la Zafra 2 estas pérdidas se redujeron a 27 % y 5 %, respectivamente, evidenciando una mejor conservación de azúcares reductores bajo las condiciones optimizadas. Esta preservación de azúcares limitó su participación en reacciones secundarias, reduciendo la formación de compuestos coloreados y no sacarosas, lo cual se confirmó indirectamente mediante el análisis de color en las corrientes de proceso (Ver Figura 5).

ZAFRA 1



ZAFRA 2

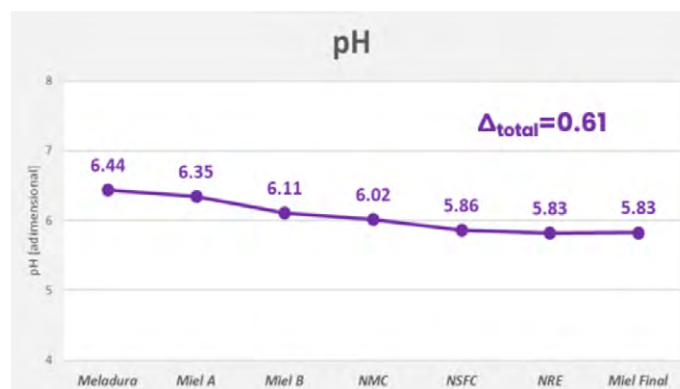
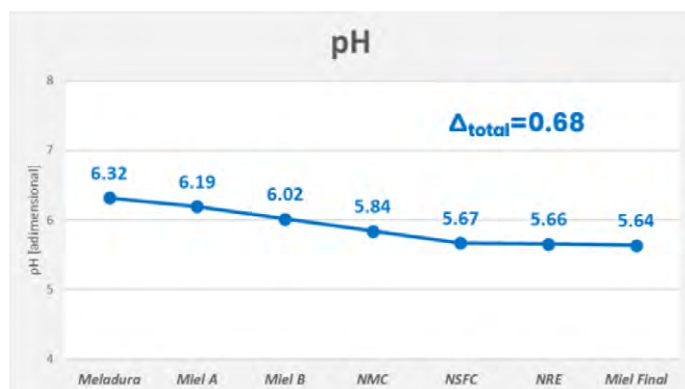


Descripción de corrientes: NMC= Nutsch Masa C, NSFC= Nutsch Salida de cristizador, NRE= Nutsch Recalentador.

Figura 5. Color a lo largo del proceso de cristalización.

El análisis del color a lo largo de las corrientes de cristalización mostró un incremento progresivo en ambas zafras, confirmando la incidencia de reacciones de Maillard en el proceso. No obstante, la magnitud del aumento fue diferente entre zafras. En la Zafra 1 se generó aproximadamente 25,300 unidades de color por etapa, mientras que en la Zafra 2 el incremento promedio fue de 17,000 unidades. Esta diferencia refleja una menor velocidad de generación de color en la zafra optimizada, lo que evidencia que las innovaciones implementadas contribuyeron a mitigar las reacciones responsables del color.

La reducción en la generación de color se relaciona con la conservación de azúcares reductores evidenciado en los análisis anteriores, lo que limitó su participación en la reacción de Maillard. Por lo tanto, la mitigación de la degradación de azúcares no solo favoreció la recuperación de sacarosa, sino que también mejoró la calidad de las mieles al disminuir la formación de compuestos coloreados y no cristalizables.



Descripción de corrientes: NMC= Nutsch Masa C, NSFC= Nutsch Salida de cristizador, NRE= Nutsch Recalentador.

Figura 6. pH a lo largo del proceso de cristalización.

El seguimiento al pH en las corrientes de cristalización mostró una tendencia descendente en ambas zafras (ver Figura 6), indicando la acidificación progresiva característica del sistema. Sin embargo, la magnitud de la caída fue distinta para ambas zafras, en la Zafra 1 el cambio total fue de 0.68 unidades, mientras que en la Zafra 2 se redujo a 0.61. Esta menor variación refleja una mayor estabilidad del medio en la zafra con mejoras.

La disminución del pH está asociada a la generación de ácidos orgánicos durante la hidrólisis de la sacarosa y las reacciones secundarias de degradación de azúcares. Por lo tanto, una menor caída del pH en la Zafra 2 sugiere que las condiciones tecnológicas implementadas mitigaron la intensidad de estas reacciones.

Balance de masa y pérdidas de sacarosa en el área de cristalización

El balance de masa realizado con base en los promedios de sacarosa, glucosa y fructosa en la meladura y miel final, junto con los flujos máscicos de cada corriente, permitió cuantificar las pérdidas asociadas al área de cristalización en ambas zafras evaluadas (Cuadro 3). Los resultados evidencian diferencias significativas en el comportamiento de los azúcares, principalmente en la fracción de glucosa, la cual corresponde al componente más susceptible a la descomposición térmica.

Cuadro 3. Tabla comparativa – Balance de masa en el área de cristalización.

Parámetro	Zafra 1 (Referencia)		Zafra 2 (Optimizada)		Diferencia
	kg/h	%	kg/h	%	
Sacarosa faltante	2,059	2.1	487	0.6	-1,572 (↓ 1.47%)
Glucosa faltante	1,314	44.2	891	36.0	-423 (↓ 8.2%)
Fructosa faltante	483	18.9	293	14.0	-190 (↓ 4.9%)
Pérdida global de sacarosa (kg/t)	~2.5		~0.7		-1.8 kg/t

En la Zafra 1, la pérdida de sacarosa alcanzó aproximadamente 2.5 kg/t, con una distribución relativa de pérdidas de 2.1% para sacarosa, 44.2% para glucosa y 18.9% para fructosa. Estos datos reflejan un entorno altamente propenso a la inversión de sacarosa y a la degradación selectiva de glucosa por reacciones de Maillard.

En contraste, la Zafra 2 mostró una pérdida global considerablemente menor, cercana a 0.7 kg/t, lo que representa una reducción de 1.8 kg/t respecto a la zafra de referencia, evidenciando el impacto directo de la optimización en la eficiencia del área de cristalización. Las pérdidas relativas se redistribuyeron hacia valores de 0.63% para sacarosa, 36.0% para glucosa y 14.0% para fructosa, evidenciando un entorno menos agresivo para la degradación de azúcares.

Más allá del aspecto técnico, este incremento en la recuperación se traduce en un beneficio económico estimado en USD \$2.5 millones por zafra para el ingenio (considerando un precio de USD \$400/t de azúcar). Esto demuestra que la implementación de innovaciones tecnológicas no solo fortalece la eficiencia del proceso, sino que también genera un retorno financiero significativo para la operación industrial. El resultado del estudio no solo respalda la toma de decisiones de inversión en esta área, sino que también fortalece la base de conocimiento técnico disponible para la industria azucarera, aportando nuevas evidencias sobre cómo reducir pérdidas en uno de los puntos más críticos de la fabricación de azúcar.

C O N C L U S I O N E S

1. *La comparación entre la zafra de referencia y la optimizada evidenció que la implementación de innovaciones tecnológicas en la cristalización de masa C permitió mitigar las reacciones de degradación de azúcares. Esto se reflejó en una menor pérdida relativa de glucosa frente a fructosa, una caída de pH más moderada y una pendiente de color reducida, lo que en conjunto confirma que se alcanzó un proceso menos susceptible a la inversión y a la reacción de Maillard.*
2. *La cuantificación de pérdidas mediante balances de masa mostró una reducción significativa en la pérdida de sacarosa, pasando de aproximadamente 2.5 kg/t en la zafra de referencia a 0.7 kg/t en la zafra optimizada. Este cambio representa una recuperación adicional de 1.8 kg de sacarosa por tonelada de caña, validando la efectividad de las mejoras implementadas.*
3. *El impacto económico derivado de la optimización alcanzó un beneficio estimado de USD \$2.5 millones por zafra, lo que demuestra que la reducción de pérdidas indeterminadas en el área de cristalización no solo mejora la eficiencia industrial, sino que también genera un retorno financiero significativo en el tiempo.*

1. *Implementar de forma sistemática estrategias de control de temperatura y reducción de tiempos de residencia en la cristalización, con un enfoque especial en la masa C, ya que estas medidas reducen significativamente las pérdidas indeterminadas de sacarosa.*
2. *Incorporar un monitoreo rutinario de parámetros críticos como temperatura, color y relación fructosa/glucosa en el área de cristalización, con el fin de detectar de forma preventiva condiciones propicias que faciliten las reacciones de hidrólisis y Maillard.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Badui, S. 2006. Química de los alimentos. 4ta edición. Pearson Education, México. 33 p.*
2. *Hodge, J. 1953. Dehydrated foods. Chemistry and browning reactions in model system. In: Food Chemistry. U.S.A. p. 928–930.*
3. *Lund, M. N.; Ray, C. A. 2017. Control of Maillard reactions in foods: Strategies and chemical mechanisms. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65(23): 4537–4552.*
4. *Miles, J. J. 1995. Development of sucrose inversion kinetics. Journal of Food Science. Wiley, Estados Unidos.*
5. *Newell. 1979. A preliminary investigation into factors affecting gas formation in massecuites and molasses. SASTA Proceedings.*
6. *Nursten, H. 2005. The Maillard reaction: Chemistry, biochemistry and implication. University of Reading, United Kingdom. p. 2–50.*
7. *Peredo, S. 2017. Factores fisicoquímicos que afectan la sacarosa durante el proceso industrial. Presentación en Seminario Internacional de Producción y Optimización de la Sacarosa. TECNICAÑA, Cali, Colombia.*
8. *Rodríguez, F.; Martínez, J. 2020. Pérdidas indeterminadas en los procesos de fabricación de azúcar: Causas y soluciones. Innovaciones en la Industria Azucarera, 28(4): 200–210.*

9. Vega, R. 2017. *Estudio preliminar del comportamiento de azúcares reductores en las etapas de cocimiento y su impacto en la recuperación de azúcar. Memoria de Resultados 2016–2017.* CENGICAÑA, Guatemala.
10. Vega, R. 2018. *Impacto de los componentes no-sacarosa en la pérdida de miel final correspondiente al proceso de cocimiento. Memoria de Resultados 2017–2018.* CENGICAÑA, Guatemala.
11. Vega, R. 2024. *Análisis de pérdidas indeterminadas y el efecto de las reacciones involucradas en los sistemas de cristalización de ingenios azucareros. Memoria de Resultados 2023–2024. Volumen II.* CENGICAÑA, Guatemala.
12. Yakout, S. M., Mostafa, A. A., & Abdeltawab, A. A. (2014). A simple aqueous solution based chemical methodology for synthesis of Ag-nanoparticles using sucrose. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 8(5), 3933–3936.

CAMPEONATO DE VOLEIBOL ATAGUA 2026



El Campeonato de Voleibol ATAGUA 2026 dio inicio el 19 de febrero, marcando el comienzo de una jornada deportiva que reunió a colaboradores, familias y amigos en un ambiente de entusiasmo, energía y sana competencia.

Este campeonato, se ha convertido en un espacio esperado por los asociados de ATAGUA y colaboradores de la industria azucarera, donde el deporte sirve para fortalecer la convivencia y promover estilos de vida saludables.

En esta edición participaron seis equipos que demostraron entrega y un alto nivel competitivo: Ingenio La Unión, Fuerza Combinada, Ingenio San Diego, Ingenio Pantaleón, Synsed y el CIAG Santa Lucía.

Los encuentros se desarrollaron en la cancha de Cengicaña, sede principal del campeonato, mientras que la gran final se disputó en el Gimnasio de Ingenio Pantaleón, brindando un escenario ideal para cerrar con emoción esta edición.

Desde los primeros partidos, los equipos se caracterizaron por su intensidad y equilibrio. Sin embargo, fueron las semifinales y la final las que mantuvieron la atención del público, gracias a jugadas decisivas, remontadas inesperadas y un nivel técnico que reflejó el compromiso de cada equipo.

El apoyo de las familias, compañeros de trabajo y aficionados a este deporte añadió un ambiente festivo que acompañó cada punto disputado.



Emocionante final y premiación

Luego de varias jornadas de juego, el campeonato llegó a su emocionante desenlace, definiendo a los equipos ganadores:



CIAG Santa Lucía



Ingenio San Diego



Ingenio La Unión

Cada equipo demostró disciplina, compañerismo y un espíritu deportivo ejemplar, valores que ATAGUA busca promover en cada una de sus actividades.

Agradecimientos y patrocinadores

ATAGUA expresa un especial agradecimiento a Cengicaña y a Ingenio Pantaleón por facilitar sus instalaciones, permitiendo que este campeonato se desarrollara con éxito y en un ambiente seguro y adecuado para los jugadores.

Asimismo, se reconoce el valioso apoyo de los patrocinadores **Milwaukee, Sediagro y Guatecaña**, cuyo respaldo hizo posible ofrecer una experiencia de calidad para los participantes y asistentes.

Más allá de los resultados deportivos, el Campeonato de Voleibol ATAGUA 2026 se convirtió en un espacio de encuentro para las familias y una oportunidad para brindar momentos de recreación y unión entre los asociados. La energía positiva, el compañerismo y la participación activa del público reafirmaron la importancia de continuar impulsando actividades que fortalezcan la comunidad técnica azucarera.

Gira de Campo

ATAGUA 2026

Finca San Bonifacio del
Ingenio Pantaleon



El pasado 9 de abril se llevó a cabo la Gira de Campo ATAGUA 2026 en la Finca San Bonifacio del Ingenio Pantaleon, evento que reunió a más de 170 técnicos y profesionales del sector azucarero, incluyendo la participación de representantes de ingenios de El Salvador. La actividad se consolidó como un espacio de intercambio técnico, donde se compartieron experiencias, innovaciones y buenas prácticas enfocadas en incrementar la productividad y eficiencia de la agroindustria de la caña de azúcar.

Como cada año, la gira tuvo como propósito acercar a los asistentes a tecnologías y metodologías que ya están siendo implementadas en campo, promoviendo el intercambio de conocimientos entre ingenios, empresas proveedoras y especialistas del sector.

Durante la jornada, los participantes recorrieron diferentes estaciones técnicas, en las cuales se abordaron temas de alto impacto para las operaciones agrícolas.

Cosecha de semilleros y establecimiento del cultivo

En esta estación se presentó el modelo operativo utilizado por Ingenio Pantaleon para la cosecha y siembra de semilleros, haciendo énfasis en la logística requerida para garantizar la calidad del material vegetativo desde su corte hasta el establecimiento en campo.

Los asistentes conocieron indicadores relacionados con rendimientos operativos, eficiencia de maquinaria, organización de grupos de trabajo, costos de operación y estrategias logísticas que permiten reducir tiempos de traslado y minimizar pérdidas de calidad de la semilla. Asimismo, se discutieron oportunidades para mejorar la eficiencia del proceso mediante una adecuada planificación y coordinación entre las diferentes etapas de la operación.



Cosecha de semilleros y establecimiento del cultivo

En esta estación se presentó el modelo operativo utilizado por Ingenio Pantaleon para la cosecha y siembra de semilleros, haciendo énfasis en la logística requerida para garantizar la calidad del material vegetativo desde su corte hasta el establecimiento en campo.

Los asistentes conocieron indicadores relacionados con rendimientos operativos, eficiencia de maquinaria, organización de grupos de trabajo, costos de operación y estrategias logísticas que permiten reducir tiempos de traslado y minimizar pérdidas de calidad de la semilla. Asimismo, se discutieron oportunidades para mejorar la eficiencia del proceso mediante una adecuada planificación y coordinación entre las diferentes etapas de la operación.

Tecnología de aplicaciones aéreas

Se presentaron las innovaciones disponibles para la aplicación aérea de productos fitosanitarios y nutricionales, destacando los avances en precisión, uniformidad de cobertura y eficiencia operacional. Además de conocer los equipos y tecnologías disponibles, los asistentes analizaron los criterios técnicos para seleccionar las condiciones óptimas de aplicación, buscando maximizar la efectividad de los tratamientos y reducir pérdidas por deriva.

Uso de carretes para riego

Esta estación mostró el crecimiento que ha experimentado la implementación de sistemas de riego mediante carretes dentro de la agroindustria, resaltando su flexibilidad para atender áreas donde otros sistemas presentan limitaciones.

Se compartieron experiencias sobre la expansión de esta tecnología, sus ventajas operativas, la reducción en tiempos de instalación, el aprovechamiento eficiente del recurso hídrico y los indicadores de productividad obtenidos. Asimismo, se analizaron las oportunidades que ofrece esta alternativa para incrementar la eficiencia de las operaciones de riego y mejorar la disponibilidad de agua durante los períodos críticos del cultivo.

Sistema RTK (Real Time Kinematic)

La estación de agricultura de precisión permitió profundizar en las aplicaciones del sistema RTK para mejorar la exactitud de las operaciones agrícolas. Se explicó cómo el uso de correcciones centimétricas facilita el guiado de maquinaria, mejora la calidad de labores como subsolado, surcado, siembra y cultivo, y contribuye a disminuir traslapes y omisiones en las operaciones mecanizadas.

Además, se destacó el valor de esta tecnología como una herramienta para generar información confiable que fortalezca la toma de decisiones técnicas y la planificación de las labores agrícolas.





Parcelas demostrativas de herbicidas preemergentes

Como parte del recorrido, diferentes casas comerciales establecieron parcelas demostrativas donde presentaron alternativas para el manejo de malezas mediante herbicidas preemergentes en un área de renovación.

Los asistentes tuvieron la oportunidad de observar directamente el comportamiento de distintas moléculas y programas de control, evaluando aspectos como espectro de acción, persistencia, selectividad y eficacia bajo condiciones reales de campo. Este intercambio permitió conocer nuevas alternativas para fortalecer las estrategias de manejo integrado de malezas y optimizar la eficiencia de los programas de control.



Innovación para la atención de quemas criminales

Dentro de las estaciones también se presentó una solución innovadora diseñada para acelerar el control de incendios provocados en cañaverales. Durante la demostración se explicó el funcionamiento del producto, sus aplicaciones y la forma en que puede contribuir a reducir el tiempo de respuesta durante eventos de quema criminal, disminuyendo el riesgo de propagación del fuego y las pérdidas económicas y ambientales asociadas.

Un espacio para compartir conocimiento

Cada una de las estaciones permitió que los participantes interactuaran directamente con especialistas, intercambiaran experiencias y conocieran tecnologías que actualmente están contribuyendo a mejorar la competitividad de la producción de caña de azúcar en la región.

La alta participación y el nivel técnico de las presentaciones reafirmaron a la gira de campo ATAGUA como uno de los eventos de mayor relevancia para la actualización profesional del sector, fortaleciendo la colaboración entre ingenios, empresas proveedoras e instituciones comprometidas con la innovación agrícola.

ATAGUA expresó su agradecimiento al Ingenio Pantaleon por abrir sus puertas y facilitar la realización de esta actividad. Como muestra de reconocimiento por su compromiso con el desarrollo técnico de la agroindustria, se hizo entrega de una distinción especial por su valiosa colaboración en la organización de esta edición de la gira de campo.



Curso Virtual Drones en la agricultura

En el marco de su programa de formación técnica continua, la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala —ATAGUA— llevó a cabo con éxito el Curso Virtual Drones en la Agricultura 2026, desarrollado en dos jornadas los días 15 y 22 de junio a las 18:00 horas (UTC-6), aperturado por el PhD. Gerardo Espinoza, Presidente de ATAGUA, y coordinado académicamente por el Msc. Wilintón Hernández, miembro de la Junta Directiva, reuniendo a ocho especialistas internacionales de seis países —Guatemala, El Salvador, Brasil, Estados Unidos, Chile y Rusia— quienes demostraron que los drones ya no son el futuro del agro, sino su presente: en la primera jornada participaron el Msc. Luis Madriles (Tecnodron – IGAAP, GT), el Ing. Ricardo Gálvez (Latitud, SV), el Arq. Diego Zelada (Kaido Tech, CL) y el PhD Juan Pablo Rojas Bustos (Skolkovo Institute of Science and Technology, RU), abordando sensores aerotransportados, tecnología LiDAR, drones de carga DJI FlyCart e inteligencia artificial aplicada al fenotipado y monitoreo de cultivos; mientras que en la segunda jornada el Ing. Julio Bran (Grupo CASSA, SV), el Msc. João Otavio Firigato (Deep Field IA, BR), la Dra. Ana Morales-Ona Smith (Universidad

de Arkansas, US) y el Ing. Leonardo García (Xfly, BR) expusieron sobre calidad en fumigación aérea, análisis de imágenes multiespectrales con IA, integración drone-satélite para la detección temprana de estrés hídrico, plagas y deficiencias nutricionales, y liberación aérea de parasitoides como modelo de protección agrícola sostenible en caña de azúcar; todo ello con el patrocinio de **Agrocentro, Disagro, Grupo Promoagro, Bayer, Cropwise by Syngenta, ADC, Agro-Superiores y Helicópteros de Guatemala**, consolidando una vez más el compromiso de ATAGUA de construir el puente entre la innovación tecnológica y el técnico de campo.

En este curso reunió a participantes internacionales, provenientes de Guatemala, Perú, Costa Rica, Honduras, Nicaragua, Colombia, México, El Salvador, Argentina, Chile, República Dominicana, Ecuador, Panamá, Bolivia, Estados Unidos, Puerto Rico, Venezuela y Brasil. Esta amplia representación refleja el creciente interés regional y global por las tecnologías emergentes que impulsan la innovación agrícola.