



Uso de maduradores en caña de azúcar





Uso de maduradores en caña de azúcar

Jhon Felipe Sandoval-Pineda,
Fernando Villegas T.

Cenicaña © 2023
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Calle 38 norte No. 3CN-75. Cali, Valle del Cauca, Colombia
Estación experimental: San Antonio de los Caballeros, vía Cali-Florida km 26
www.cenicana.org

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



Contenido

- Introducción 4
- Objetivos de la maduración inducida 6
- Desarrollo de los maduradores en caña de azúcar..... 7
- Evaluación de maduradores en el valle del río Cauca 8
- Productos usados como maduradores 10
 - Trinexapac-etil 10
 - Fluazifop-p-butil 11
 - Glifosato 12
 - Productos alternativos 12
- Respuesta de las nuevas variedades a los maduradores 14
- Equipos de aplicación de maduradores 16
- Procedimiento para la aplicación de maduradores 17
- Paradigmas con el uso de reguladores de crecimiento 20
- Aplicación de maduradores en cañas volcadas 22
- Beneficios de la aplicación de maduradores 23
- Conclusión..... 25
- Referencias 26

Introducción

La caña de azúcar en el valle del río Cauca crece en diferentes condiciones climáticas y de manejo que afectan directamente la maduración del cultivo. En tal sentido, precipitaciones abundantes y temperaturas nocturnas elevadas, al igual que excesos en la fertilización nitrogenada y riegos tardíos, promueven incrementos en las tasas de crecimiento y respiración de la planta en la etapa de maduración. Estos factores poco favorables para la maduración natural reducen la cantidad potencial de sacarosa que podría almacenarse en los entrenudos (Unigarro & Villegas, 2020).

Dado que no es posible asegurar siempre las condiciones ideales para la maduración, ya que éstas dependen de la variabilidad espacial y temporal de la zona donde se ubican los cultivos, se requiere usar productos maduradores con el fin de reducir el gasto respiratorio, regular el crecimiento de la planta y promover la translocación de carbohidratos hacia los entrenudos. Por consiguiente, un madurador ideal de la caña de azúcar sería aquel que mejore los rendimientos de sacarosa de manera rápida, consistente y económica, sin dañar el cultivo, ni su siguiente ciclo ni los cultivos vecinos, además de poseer una baja toxicidad para los mamíferos y una vida media ambiental corta (Moore & Botha, 2015).

A continuación, se resume la evolución del uso de maduradores en la caña de azúcar y se explican diferentes aspectos técnicos como la variedad, el tipo de ingrediente, la dosis, el volumen de descarga y el tiempo transcurrido entre la aplicación y la cosecha, que inciden en la cantidad de sacarosa adicional que se puede recuperar al momento del corte. Con ello este documento busca brindar herramientas para tomar decisiones con criterio técnico que permitan maximizar la producción de azúcar en las condiciones ambientales del valle del río Cauca.

Objetivos de la maduración inducida

Un madurador es un compuesto químico u orgánico que aplicado a la planta en pequeñas cantidades durante la etapa de maduración, o en algunos casos antes, logra inhibir, fomentar o modificar sus procesos fisiológicos (Villegas & Arcila, 1995). En la caña de azúcar, la mayoría de estos compuestos actúan como reguladores de crecimiento para favorecer una mayor concentración de sacarosa, ya sea disminuyéndolo o sin afectar la fotosíntesis, o actuando sobre las enzimas que catalizan la acumulación de sacarosa (Melgar et al., 2014). Los objetivos básicos de un programa de maduración en caña de azúcar buscan: 1) obtener la máxima recuperación posible de sacarosa; 2) estabilizar el contenido de sacarosa en periodos húmedos; 3) obtener una

ganancia económica adicional en corto tiempo, sin deteriorar el cultivo; 4) reducir la duración del período vegetativo entre cosechas (Van Heerden et al., 2015). De esta manera, un programa eficaz de maduración sincronizado con el programa de cosecha puede incrementar la recuperación de sacarosa entre 0.4 y 2.5 unidades porcentuales adicionales al momento del corte (Figura 1), es decir, entre 5 y 25 kg más de azúcar por tonelada de caña molida. Esta respuesta dependerá de aspectos como el momento de aplicación (semanas antes de la cosecha), de un adecuado uso de los ingredientes activos (dosis), del equipo de aplicación (calibración y volumen de descarga), de las condiciones climáticas durante la etapa de maduración y de la variedad, entre otros.

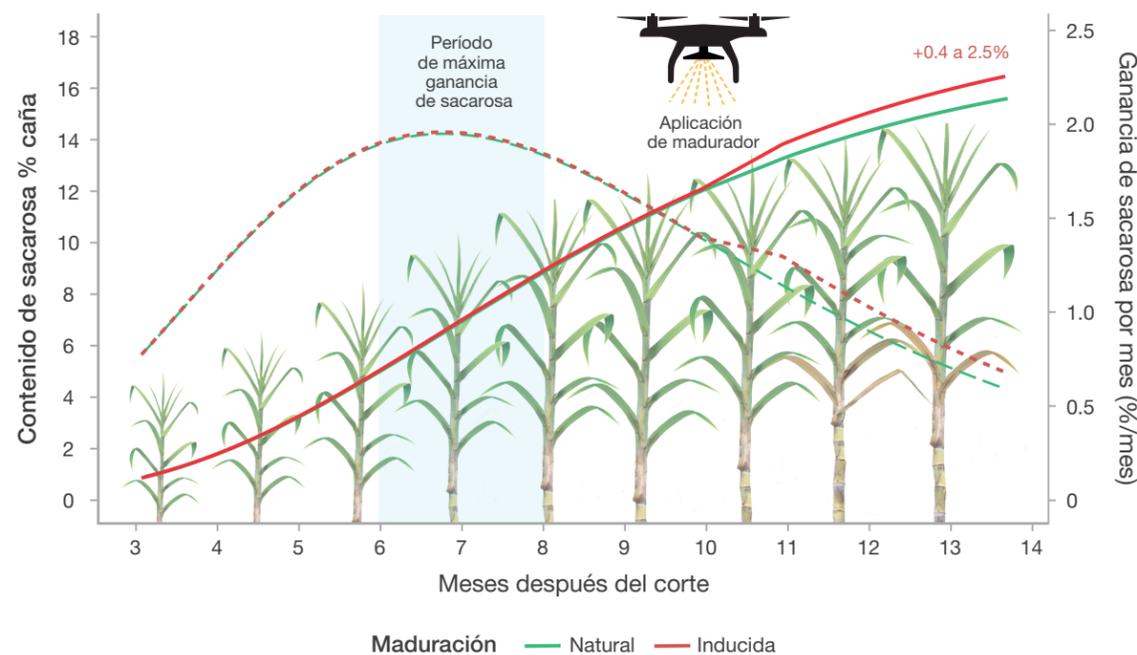


Figura 1. Dinámica de la acumulación de sacarosa de forma natural (línea sólida verde) y mediante maduración inducida (línea sólida roja) a lo largo del ciclo productivo de la caña de azúcar. La línea discontinua indica la ganancia de sacarosa por mes (adaptado de Quevedo-Amaya et al., 2021).

Desarrollo de los maduradores en caña de azúcar

Desde 1920 se ha investigado sobre el uso de maduradores no solo en caña de azúcar, sino también en cultivos de soya, maíz, piña y sorgo. En su momento, la práctica más antigua de maduración consistió en reducir el área foliar cortando varias hojas de la planta en la etapa de maduración (Villegas, 2010).

A partir de 1948 se incrementó el interés por el uso de productos químicos para la maduración de la caña de azúcar, como lo mencionan Van Heerden et al. (2015) en una breve historia del uso de los maduradores. En el período 1949-1970, el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) fue utilizado como regulador de crecimiento en zonas productoras de Hawái, Cuba, India y Australia (Chacravarti et al., 1956; Coleman et al., 1960; Azzi et al., 1978). Sin embargo, su uso se interrumpió cuando se detectó que este potente herbicida tenía efectos sustanciales a largo plazo sobre las enzimas metabolizadoras de sacarosa, que se reflejaron en inconsistencias en su capacidad para aumentar los rendimientos de azúcar (Villegas & Arcila, 1995).

Posteriormente y por la misma época se consideraron como maduradores promisorios otros compuestos como el sucrol (derivado del petróleo), el ácido 2,3,6-triclorobenzoico (TBA), el fosfato monopotásico, el ácido 2,4,5-triyodobenzoico (TIBA), el ácido giberélico (GA), el nitrato de zinc, el glicerol, el etanol, el fluoruro de sodio, el sulfato de cobre y el nitrato de cobre. No obstante, fueron descartándose uno a uno porque eran incapaces de mejorar constantemente los rendimientos de sacarosa, o por no satisfacer algunos otros criterios importantes requeridos para una maduración efectiva (Azzi et al., 1978; Coleman et al., 1960; Villegas & Arcila, 1995).

Durante el período 1970-2010 solo surgieron unos pocos productos químicos que dieron buenos resultados como maduradores en Hawái, Mauricio, Florida, Luisiana, Puerto Rico, Brasil y Suráfrica. Entre estos compuestos, los principales fueron el glifosato (Polado®, Polaris®, Roundup®), el ácido 2-cloroetilfosfónico (Ethrel® y Ethephon®), el fluazifop-p-butil (Fusilade®) y el trinexapac-etil (Moddus®). Estos cuatro ingredientes químicos fueron ampliamente utilizados como maduradores de la caña de azúcar para mejorar la rentabilidad del cultivo en condiciones desfavorables para su maduración natural (Villegas & Arcila, 1995; Solomon & Li, 2004; Almeida Silva & Caputo, 2012).

El glifosato (Roundup®) es el producto más utilizado como madurador por su alta efectividad en países productores de caña de azúcar como Suráfrica, Taiwán, China, Jamaica, India, Brasil, Argentina, Guatemala y Australia (Solomon & Li, 2004; Melgar et al., 2014). Sin embargo, en la última década otros productos reguladores de crecimiento a base de trinexapac-etil (Moddus®, Bonus® y Tronuspac®) han tenido una gran acogida por su habilidad para incrementar la recuperación de sacarosa al momento de la cosecha sin ser productos herbicidas. Esta modificación en los esquemas de maduración ha tenido mejor acogida entre los agricultores por sus efectos positivos sobre la recuperación de sacarosa y su bajo impacto ambiental.

Un programa eficaz de maduración sincronizado con el programa de cosecha puede incrementar la recuperación de sacarosa entre 4 y 25 kilos adicionales al momento del corte.

Evaluación de maduradores en el valle del río Cauca

La evaluación de productos maduradores en la región se remonta a la década de los setenta del siglo pasado, con algunas investigaciones realizadas por los ingenios del valle del río Cauca, que no mostraron resultados consistentes. Posteriormente, en 1981, el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) y varios ingenios realizaron diferentes ensayos semi comerciales y en micro parcelas, que fundamentaron algunos lineamientos técnicos y científicos para inducir la maduración en las variedades de la época. Los primeros experimentos evaluaron el efecto de diferentes dosis de etileno y glifosato sobre la calidad de los jugos de las variedades PR 12-48, PR 61-632, Co 421, CP 57-603 y POJ 28-78. Los resultados de este estudio reflejaron incrementos en el azúcar recuperable (5-26 kg azúcar adicionales por tonelada de caña, según la variedad) entre las 6 y las 14 semanas después de la aplicación con glifosato (1-1.5 L/ha). (Villegas & Arcila, 1995). Con base en estos resultados, en 1983 el Ingenio Risaralda fue el primero en adoptar esta tecnología como labor de cultivo, y posteriormente otros ingenios lo hicieron hasta alcanzar para 1993 un total de 62,000 ha aplicadas en los valles de los ríos Cauca y Risaralda (Villegas & Torres, 1993).

Cenicaña continuó realizando investigaciones en la década de los noventa con otros productos, con el fin de encontrar nuevos maduradores químicos que estabilizaran el contenido de sacarosa de las variedades predominantes para la época (CP 72-356, CP 72-370, Mex 52-29, Mex 64-1487, Mex 68-200, Mex 68-808, MZC 74- 275, PR 11-41, PR 61-632 y V 71-51). En tal propósito, se evaluaron ingredientes químicos como haloxyfop-R-metil éster (Galant® 0.3-0.5 L/ha), fluazifop-p-butyl (Fusilade® 0.2-1 L/ha), glufofosinato de amonio (Basta® 1-2 L/ha), cletodim (Select® 0.7-1 L/ha), glifosato (Roundup®, Pola-

do®, Polaris® 0.5-1.5 L/ha) y etileno (Ethrel® 1-2 L/ha). También se evaluaron algunos productos defoliantes como thidiazuron (DroppUltra® 0.5-1 L/ha) y dimethipin (Harvade® plus 1-2 L/ha). Sin embargo, todos ellos estuvieron por debajo de la eficiencia obtenida con el glifosato o mostraban resultados inconsistentes sobre el contenido de sacarosa, e incluso algunos de ellos redujeron drásticamente el crecimiento de los tallos (Villegas & Arcila, 1995).

El glifosato tuvo una gran importancia para la industria de caña de azúcar durante la primera década de 2000, cuando llegó a ser el producto más aplicado en el valle del río Cauca (70-90%) y representó para la industria entre 3 y 5 kg de azúcar adicionales por tonelada de caña molida (Figura 2). No obstante, su uso empezó a restringirse por diferentes requerimientos a escala mundial que se sustentaban en la posibilidad de encontrar trazas de glifosato en el producto final (Cuhra et al., 2016). Ante la necesidad de evaluar nuevas alternativas al glifosato, a partir del 2011 el sector agroindustrial retomó el uso trinexapac-etil, el cual ya había sido evaluado por Cenicaña en la década de los noventa con buenos resultados como madurador, pero su uso no se popularizó debido a su alto costo comercial. La adopción de Trinexapac-etil fue relativamente rápida, de tal forma que para finales de 2021 había sustituido completamente el uso de glifosato. Esto representó para la industria una recuperación de 7 kg de azúcar adicionales por tonelada de caña cosechada.

En los últimos años, Cenicaña ha continuado explorando otras alternativas para la maduración inducida con premaduradores, es decir, productos utilizados en épocas previas a la etapa de maduración para potencializar el transporte y almacenamiento de carbohidratos hacia los tallos.

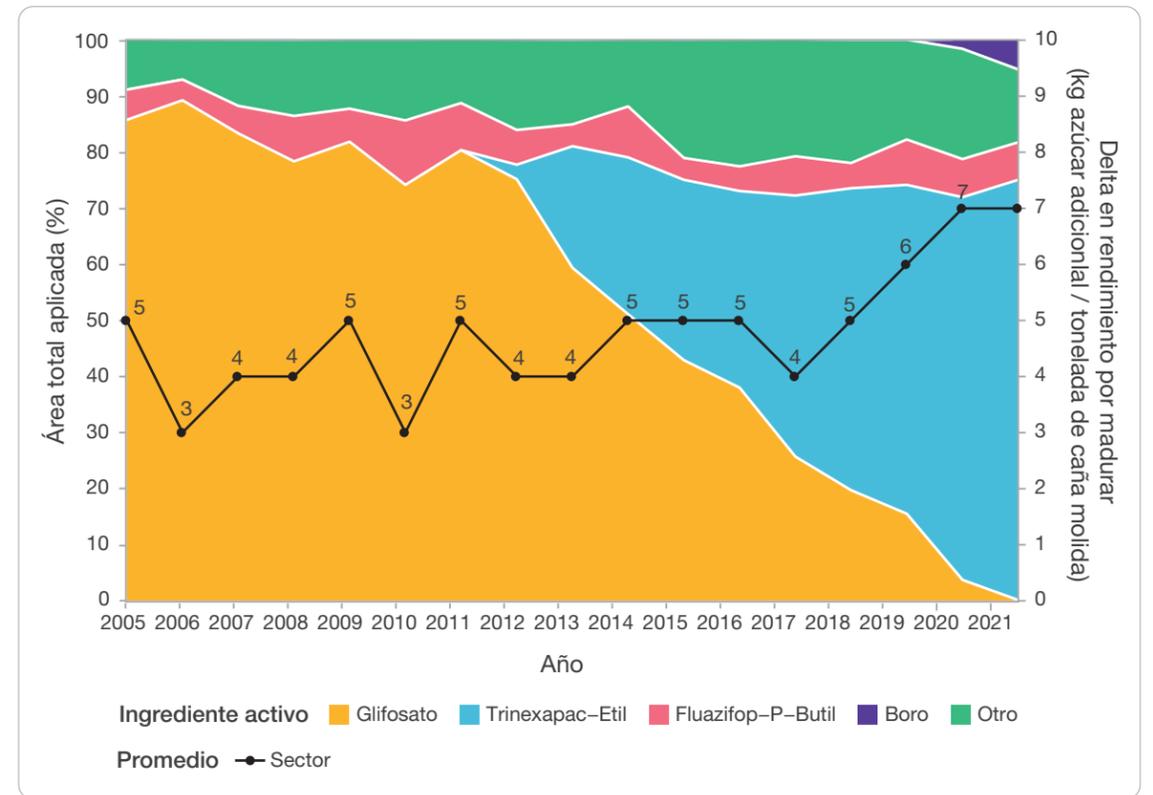


Figura 2. Evolución del uso de diferentes maduradores en el valle del río Cauca. La línea negra indica el incremento en kilogramos de azúcar por tonelada de caña (promedio anual) obtenidos por la industria debido a la aplicación de maduradores con respecto a cañas no tratadas.

Estos productos son en su mayoría fertilizantes foliares a base de fosfato de potasio, carbono orgánico, aminoácidos y boro. Este último ha generado resultados preliminares positivos (1-3 kg azúcar adicionales por tonelada de caña) en épocas secas al ser aplicado entre 12 y 16 semanas previas a la cosecha con dosis de 200-500 g/ha (Cenicaña, 2022). En periodos de altas precipitaciones la respuesta al boro ha sido poco consistente considerando que su efectividad depende también de la variedad y su estado nutricional. Adicionalmente, el boro es un elemento que puede ser usado en cañas orgánicas y debido a esto fue aplicado por diferentes ingenios en 5183 ha en 2021.

Actualmente, la agroindustria azucarera del valle del río Cauca basa sus programas de maduración principalmente en el uso de reguladores

de crecimiento (81%), y en una menor proporción, en el uso de fertilizantes foliares (19%). No obstante, Cenicaña continúa evaluando diferentes moléculas, dosis y esquemas de aplicación de maduradores que permitan optimizar la recuperación de sacarosa, especialmente en las variedades promisorias con gran potencial de adopción por el sector.

La adopción de Trinexapac-etil fue relativamente rápida, de tal forma que para finales de 2021 había sustituido completamente el uso de glifosato.

Productos usados como maduradores

En el valle del río Cauca han sido evaluados muchos productos como maduradores de la caña de azúcar. Sin embargo, han logrado posicionarse solo aquellos productos a base de trinexapac-etil, fluazifop-p-butil, glifosato y algunos fertilizantes. A continuación, se describen sus principales características, mecanismos de acción y se brindan algunas recomendaciones para su uso adecuado.

Trinexapac-etil

Trinexapac-etil es un regulador de crecimiento que al ser absorbido a través de las hojas inhibe temporalmente la conversión de un precursor de las giberelinas (GA_{20}) a una de sus formas bioactivas (GA_1) (Van Heerden et al., 2015). Esta condición causa una ralentización en la tasa de elongación de los entrenudos de la caña de azúcar, que resulta en mayores acumulaciones de sacarosa en los tallos durante la etapa de maduración (Faria et al., 2015; Spaunhorst et al., 2019).

Adicionalmente, este ingrediente activo al ser utilizado en dosis altas (2 L/ha) puede también producir un efecto similar al etileno, que se traduce en una disminución de la demanda de carbohidratos a hojas vertedero con crecimiento activo, lo que incrementa la acumulación de sacarosa en los entrenudos (Van Heerden et al., 2015).

La aplicación de este ingrediente depende de la cantidad de biomasa que se espera regular, considerando que actualmente algunas variedades de caña de azúcar tienen el potencial de alcanzar productividades de hasta 200 toneladas por hectárea (TCH) en las condiciones productivas del valle del río Cauca. Por tal razón, para un adecuado efecto de este producto es recomendable aplicar dosis entre 5 y 15 centímetros cúbicos por tonelada (cc/t) de caña aforada al momento de la aplicación, y hacerlo entre las 8 y 12 semanas antes de la cosecha (Figura 3).

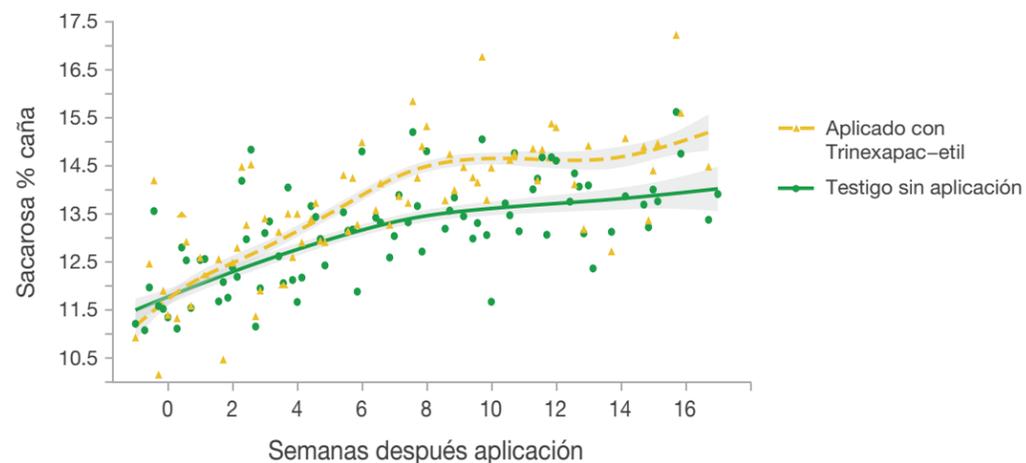


Figura 3. Efecto de la aplicación de trinexapac-etil sobre el contenido de sacarosa en caña de azúcar en la etapa de maduración. El área sombreada representa el intervalo de confianza del 95% del modelo. Datos consolidados de 20 experimentos en condiciones del valle del río Cauca.

Fluazifop-p-butil

Originalmente este producto es un herbicida pos emergente específico de gramíneas, que inhibe la actividad de la acetil-CoA carboxilasa, enzima encargada de la formación de ácidos grasos (Almeida Silva & Caputo, 2012). De esta forma, fluazifop-p-butil restringe la biosíntesis de las membranas y otros metabolitos como ceras, flavonoides, antocianinas, que afectan el gradiente protónico regulado por las membranas celulares (Liu et al., 2017). Una vez absorbido a través de las hojas se transloca a regiones meristemáticas vía apoplasto donde ejerce su acción herbicida. Por esta razón, las plantas tratadas con este producto muestran rápidamente clorosis en las hojas jóvenes en expansión y necrosis en el meristemo apical (Romero et al., 2000).

En la caña de azúcar, el uso de dosis bajas de este ingrediente activo funciona como un regulador de crecimiento generando incrementos en la recuperación de sacarosa principalmente

por tres razones: 1) disminuye el gasto energético en crecimiento, por la muerte del meristemo apical, sin afectar marcadamente la actividad fotosintética, ya que su acción en las hojas verdes totalmente expandidas es más lento, con lo cual la planta mantiene la producción y tiende a almacenar la sacarosa en los entrenudos (Almeida Silva & Caputo, 2012); 2) el ingrediente activo reduce la actividad de la invertasa ácida (Romero et al., 2000); y 3) reduce la biosíntesis del ácido indol acético (AIA), lo que se traduce en un incremento de la evolución del etileno, acelerando la senescencia (Luo et al., 2001).

Debido a la rápida acción de fluazifop-p-butil, este ingrediente debe aplicarse entre 4 a 6 semanas previas a la cosecha, en dosis de 0.5-1 L/ha (Figura 4). Se recomienda, por tanto, utilizarlo en aquellos campos en los que se pueda cumplir con la cosecha en el tiempo estipulado; de lo contrario, la ganancia en sacarosa por la aplicación del producto suele perderse luego de ocho de semanas con la brotación de yemas laterales o "lalas".

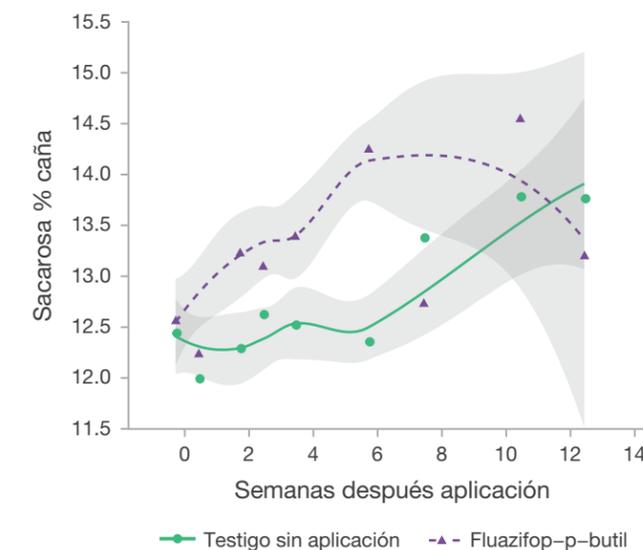


Figura 4. Efecto de la aplicación de fluazifop-p-butil sobre el contenido de sacarosa en caña de azúcar en la etapa de maduración. El área sombreada representa el intervalo de confianza del 95% del modelo. Datos consolidados de cinco experimentos en condiciones del valle del río Cauca.

Glifosato

Es un ingrediente utilizado mundialmente como herbicida no selectivo, pero en dosis bajas también es altamente efectivo como madurador en la caña de azúcar (Azania et al., 2013). Este producto es absorbido por el follaje y rápidamente translocado al meristemo apical, donde suprime la formación de nuevos tejidos al interferir con la síntesis de aminoácidos aromáticos esenciales (triptófano, tirosina y fenilalanina) requeridos para la biosíntesis de la lignina (Moore & Botha, 2015). El glifosato desencadena dos reacciones que aceleran el proceso de maduración: 1) La disminución del crecimiento del meristemo apical inhibe la síntesis del ácido indol acético (AIA) y aumenta la actividad de la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) sintasa, que promueve la síntesis de etileno; este cambio en el balance hormonal estimula el proceso de senescencia y la inhibición de la elongación del tallo (Almeida Silva & Caputo, 2012). 2) Se ha demostrado que la disminución en la síntesis de AIA está involucrada en reducciones de la actividad de la invertasa ácida, enzima involucrada en el desdoblamiento de sacarosa a glucosa y fructosa, lo que propicia una mayor conservación y almacenamiento de los contenidos de sacarosa (Su et al., 1992).

El glifosato como madurador (0.8-1.5 L/ha) tiene una rápida respuesta en la caña de azúcar y produce incrementos en el contenido de sacarosa entre las 6 y 12 semanas después de su aplicación (Villegas & Arcila, 1995). Como se mencionó, el glifosato fue uno de los ingredientes más utilizados como madurador, ya que generó las mayores recuperaciones de sacarosa (10-20 kg azúcar adicionales por tonelada de caña) comparado con otros ingredientes como trinexapac-etil (5 kg azúcar/t) (Gravois et al., 2001). No obstante, su uso se ha restringido por razones ambientales y en algunos países por sus efectos negativos sobre el rebrote en condiciones de estrés (Solomon & Li, 2004; Spaunhorst et al., 2019).

Mundialmente el glifosato es el ingrediente activo más utilizado como madurador en caña. Sin embargo, en el valle del río Cauca desde el 2021 no se utiliza y se ha reemplazado principalmente con Trinexapac-etil.

Productos alternativos

Existe una gran variedad de productos que son comercializados como premaduradores, bioestimulantes o promotores de sacarosa. Estos productos, conocidos comúnmente como “alternativos”, están compuestos principalmente por macronutrientes (P y K), por micronutrientes (B, Zn, Cu y Mn) o por fitohormonas (giberelinas, citoquininas, etileno). Al aplicarlos se pretende fomentar diferentes procesos fisiológicos como: 1) una adecuada nutrición que mantenga la homeostasis celular y el funcionamiento fotosintético de las hojas; 2) incrementar el transporte de carbohidratos desde las hojas hacia los entrenudos; 3) un balance positivo entre la actividad de enzimas de síntesis sobre la actividad de enzimas de degradación de sacarosa (Wang et al., 2013).

La fertilización foliar busca aproximar el estado nutricional de las plantas a una condición óptima para el desarrollo de sus funciones fisiológicas en la etapa de maduración. Por ejemplo, el fósforo es un componente de la molécula de ATP y está involucrado en la carga de fotoasimilados en el floema hacia los órganos vertedero (Hammond & White, 2008); el potasio, el catión más abundante en el floema, es fundamental para establecer los gradientes de concentración de protones que movilizan la sacarosa hacia los entrenudos (Dreyer et al., 2017; Lemoine et al., 2013); y el boro, microelemento esencial que forma complejos B-sacarosa, juega un papel importante en el transporte basipétalo a través del floema (Du et al., 2020; Mishra & Heckathorn,

2016; Wimmer et al., 2020). Otros elementos como zinc, cobre y manganeso tienen un papel importante como cofactores enzimáticos en la respuesta antioxidante, pues pueden disminuir el gasto respiratorio de carbohidratos en condiciones de estrés (Broadley et al., 2011).

Por otra parte, compuestos a base de fitohormonas, como Auxinas o Ácido Indol Acético (AIA), citoquininas (CK) y giberelinas (GA), buscan fomentar incrementos en la tasa de fotosíntesis o en la duración del área foliar que potencialicen la producción de carbohidratos previa a la etapa de maduración (Wu et al., 2021); y la aplicación de productos a base de etileno pretende acelerar la senescencia de las hojas e incrementar el transporte de carbohidratos desde las hojas hacia los entrenudos (Chen et al., 2019). Teniendo en cuenta los fundamentos fisiológicos, se

recomienda aplicar estos productos (P_2O_5 : 400-1200 g/ha; K_2O : 400-1200 g/ha; B: 200-500 g/ha; CK: 50-100 mg/ha; GA: 50-100 mg/ha; AIA: 50-100 mg/ha) entre 12 y 18 semanas antes de la cosecha; y el etileno (480-720 g/ha) entre las 4 y 6 semanas. Sin embargo, es importante resaltar que su respuesta sobre el contenido de sacarosa suele ser baja y poco consistente (Figura 5), ya que su efecto depende principalmente de las condiciones nutricionales y ambientales durante el periodo de maduración.

Los productos alternativos pueden ser una opción para incrementar los contenidos de sacarosa. Sin embargo, se recomienda su uso en esquemas de aplicación dobles (dos aplicaciones de productos diferentes en un ciclo de cultivo) con reguladores de crecimiento que potencialicen la recuperación de sacarosa al final del ciclo.

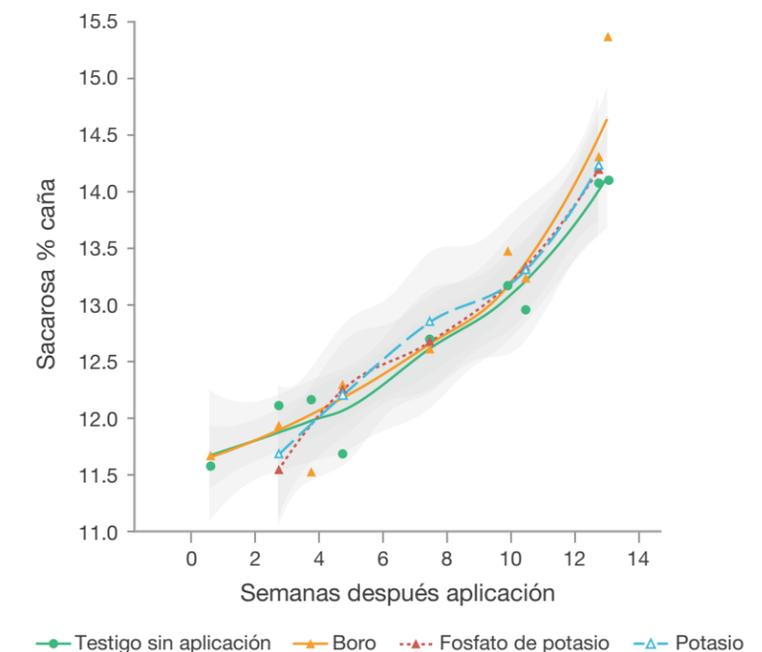


Figura 5. Efecto de la aplicación de algunos productos alternativos sobre el contenido de sacarosa en caña de azúcar en la etapa de maduración. El área sombreada representa el intervalo de confianza del 95% del modelo. Datos consolidados de tres experimentos en condiciones del valle del río Cauca.

Respuesta de las nuevas variedades a los maduradores

Como se ha visto, la maduración inducida es una de las prácticas más utilizadas para incrementar el contenido de sacarosa en la caña de azúcar al momento de la cosecha. No obstante, la aplicación de estos ingredientes puede diferir entre variedades. Cenicaña evaluó la respuesta de algunas variedades promisorias ante la aplicación de diferentes maduradores (Figura 6). Estos experimentos destacan que es posible incrementar en promedio 0.6 unidades porcentuales el contenido de sacarosa, según la variedad y el ingrediente utilizado. Por ejemplo, CC 05-430 presentó incrementos de hasta 2.5 unidades porcentuales con la aplicación de trinexapac-etil (8-12 cc/t) o 2.0 con fluzifop-p-butil (5-6 cc/t), y en menor proporción con boro (520 g/ha) y/o algunos fer-

tilizantes foliares a base de fósforo y potasio (800-1200 g/ha). Otras variedades como CC 11-595 y CC 09-066 también mostraron respuestas favorables a dosis más bajas de trinexapac-etil (5-8 cc/t). Actualmente se estudia qué efectos tienen en la maduración otros ingredientes activos.

Los datos experimentales han permitido diseñar los lineamientos de manejo básicos para la maduración de las variedades más utilizadas (Cuadro 1). Como criterios para definir la dosis para lograr los resultados más favorables se debe considerar el tipo de variedad, el ingrediente activo, el aforo del cultivo al momento de la aplicación y la condición de humedad durante la etapa de maduración.

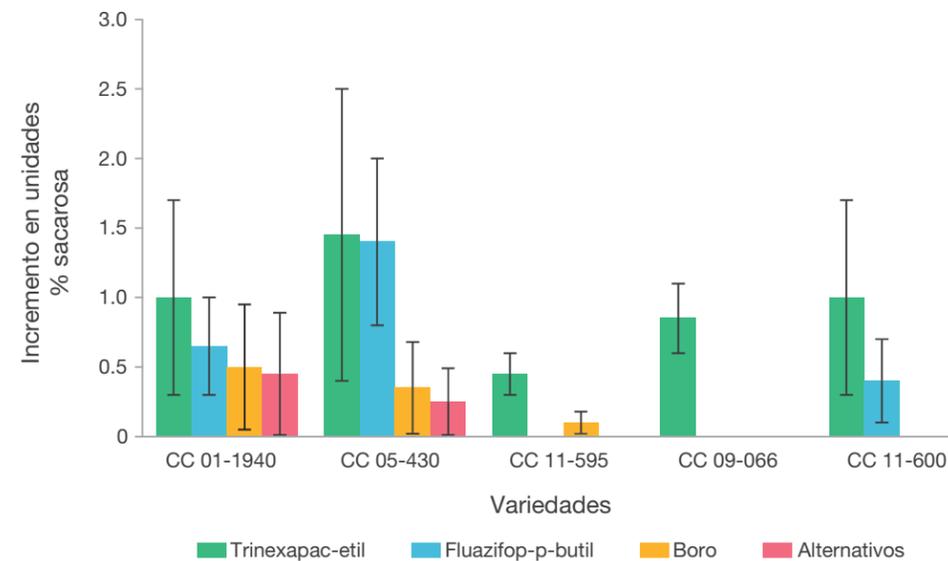


Figura 6. Incrementos en la recuperación de sacarosa por la aplicación de maduradores en diferentes variedades de caña de azúcar con respecto a un testigo sin aplicación. Los datos corresponden a la media de los incrementos relativos en múltiples ensayos utilizando la sacarosa % caña obtenida en los periodos óptimos de cosecha para cada ingrediente (trinexapac-etil, 8-12 semanas; fluzifop-p-butyl, 4-6 semanas; boro y alternativos, 12-14 semanas). Los intervalos representan la ganancia mínima y máxima obtenida en los diferentes ensayos experimentales.

Cuadro 1. Dosis recomendadas de maduradores para obtener las máximas recuperaciones de sacarosa al momento de la cosecha en variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Variedad	Producto madurador				Boro (g/ha) ³
	Trinexapac-etil (cc/t) ¹		Fluzifop-p-butyl (cc/t) ²		
	Condición seca ⁴	Condición húmeda ⁴	Condición seca	Condición húmeda	
CC 85-92	6	7	3	4	260
CC 93-4418	6	7	3	4	260
CC 01-1940	7	8	3	4	260
CC 05-430	12	15 ⁵	5	6	520
CC 09-066	5	6	5	6	520
CC 11-600	12	15	5	6	ND ⁶
CC 11-595	12	15	ND	ND	ND
CC 12-2120	12	15	ND	ND	ND
CC 14-3296	12	15	ND	ND	ND

- ¹ Dosis de trinexapac-etil a aplicar entre las 8 y 12 semanas antes de la cosecha.
- ² Dosis de Fluzifop-p-butyl a aplicar entre las 4 y 6 semanas antes de la cosecha.
- ³ Dosis de boro a aplicar entre las 12 y 14 semanas antes de la cosecha.
- ⁴ Condición de humedad del suelo esperada entre la aplicación y la cosecha.
- ⁵ En variedades de alta productividad (>150 toneladas de caña/ha) se debe respetar la dosis máxima permitida en la etiqueta comercial.
- ⁶ ND: No determinado.

Las recomendaciones aquí brindadas se basan en la cantidad de biomasa que se pretende regular, considerando las diversas condiciones ambientales espaciotemporales que suceden a lo largo del valle del río Cauca. Por ejemplo, una variedad cuya producción estimada sea de 100 toneladas al momento de la aplicación y el madurador elegido indique 10 cc/t, demandará 1000 cc/ha o 1 L/ha del producto.

La tabla de dosis sugerida es una referencia base para obtener los mayores contenidos de

sacarosa en cada variedad, considerando un periodo de cosecha acorde con el producto a utilizar. Sin embargo, cuando se enfrenta la incertidumbre de no poder cosechar debido a excesos de humedad en el suelo que restrinjan el ingreso de la maquinaria al lote, es recomendable usar trinexapac-etil en dosis bajas (e.g 3-5 cc/t) que promuevan un incremento leve en el contenido de sacarosa sin afectar la productividad, como consecuencia de un alto número de semanas (>20 semanas) por cosechas tardías.

Equipos de aplicación de maduradores

La principal función de un equipo de aspersión es fraccionar la mezcla en gotas de tamaño efectivo y distribuir las uniformemente sobre la superficie o espacio que se desea cubrir (Villegas & Arcila, 1995). En 2021, la práctica de maduración del cultivo se realizó en el 74% del área cosechada con caña de azúcar en el valle del río Cauca (Datos consolidados por Cenicaña, 2022). La práctica involucra una serie de desafíos logísticos para lograr la meta de área aplicada, si se considera que pueden sobrevenir condiciones ambientales adversas que retrasen los programas de aplicación. Por ello, en las úl-

timas décadas se han utilizado diferentes equipos para la aplicación aérea del madurador: primero aviones, luego helicópteros, más adelante aeronaves ultralivianas y recientemente drones. Estos dos últimos medios de aspersión son actualmente los más utilizados porque han permitido incrementar la eficiencia de la aplicación y disminuir sustancialmente sus costos (Figura 7). Las disposiciones para la operación de estos equipos se encuentran en los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia y actualizados en la resolución 04201 del 2018 de la Aeronáutica Civil.



Figura 7. Comparación de características de equipos de aplicación de maduradores en caña de azúcar asumiendo un volumen de descarga de 5 L/ha.

Procedimiento para la aplicación de maduradores

La aplicación de los productos maduradores en la caña de azúcar debe considerar diferentes aspectos técnicos que garanticen obtener los mayores contenidos de sacarosa al momento de la cosecha. Estos son los principales:

- **Edad de cosecha.** La edad óptima de cosecha difiere entre variedades y depende básicamente tanto de su capacidad de crecimiento como de alcanzar la fase de maduración en mayor o menor tiempo. En general, las variedades de caña de azúcar que se siembran en el valle del río Cauca se pueden cosechar entre los 12 y los 13 meses de edad, aunque algunas variedades pueden ser más tardías y deben cosecharse entre los 13 y los 14 meses de edad.
- **Época de aplicación.** Una vez establecida la fecha de corte para una suerte, se debe programar la fecha de aplicación de forma que se garantice un número de semanas óptimo de acuerdo con el producto madurador a utilizar (p.e., 8-12 semanas antes de la cosecha para trinexapac-etil).
- **Verificación de los equipos de aplicación.** Independientemente del medio de aplicación aérea que se utilice, es recomendable calibrar periódicamente los equipos para verificar las descargas por boquilla, la presión de las bombas y los flujos totales (Villegas, 2010). Para ello se recomienda usar la fórmula:

$$F = \frac{D * A * V}{K}$$

Donde:

F = Flujo total requerido en L/min o galones/min

D = Volumen total a aplicar en L/ha o galones/ha

A = Ancho de franja cubierta en cada pasada en metros

V = Velocidad de vuelo en km/h o MPH

K = Valor de conversión: 600 si V está en km/h y 373 si V está en MPH.

- **Seleccionar el producto y la dosis.** El producto deberá seleccionarse de acuerdo con las necesidades del ingenio (proyecciones de cosecha) y el tipo de caña a comercializar (convencional u orgánica). En cuanto a la dosis, se debe considerar el tipo de variedad, el aforo del cultivo al momento de la aplicación y la condición de humedad durante la etapa de maduración (Cuadro 1).
- **Volumen de aplicación.** Este parámetro está asociado con la cobertura del producto sobre el follaje y el riesgo de volatilización por el tamaño de las gotas. Comercialmente se utilizan volúmenes de descarga bajos (5 L/ha), que permiten mayores rendimientos de aplicación (ha/día) sea cual fuere el equipo de aplicación. Sin embargo, varios experimentos realizados por Cenicaña han demostrado que con volúmenes más altos (10-15 L/ha) se puede lograr una mayor efectividad agronómica del trinexapac-etil, además, al incrementar el tamaño de las gotas y su número por unidad de área, se reduce el riesgo por deriva (Figura 8).

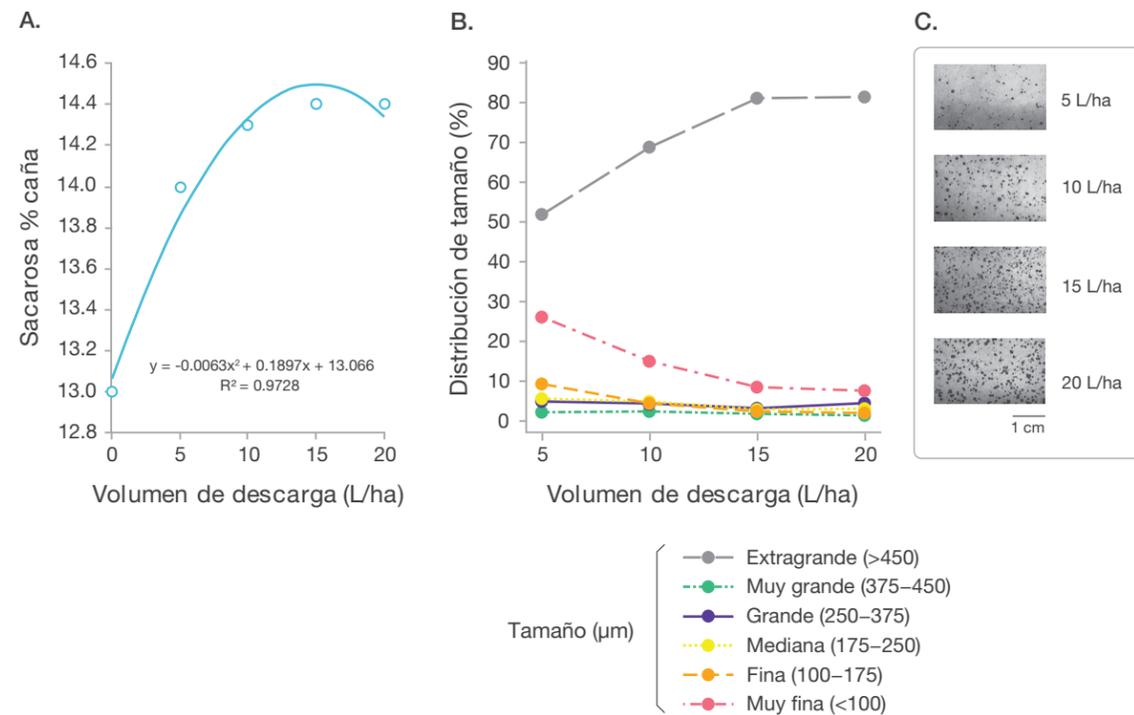


Figura 8. Efecto de la aplicación de trinexapac-etil (10 cc/t) con diferentes volúmenes de descarga sobre el contenido de sacarosa de la caña (A), Distribución del tamaño de las gotas aplicadas según la Sociedad Americana de Ingeniería Agrícola y Biológica (ASABE) (B), Patrón de goteo de los diferentes volúmenes de descarga aplicados con dron sobre el papel hidrosensible (C).

- **La aplicación.** Debe efectuarse en condiciones ambientales que disminuyan la probabilidad de evaporación y la deriva del producto aplicado, así: máxima velocidad del viento, 8 km/h; temperatura máxima, 30 °C; y humedad relativa mínima, 60%. Estas condiciones generalmente ocurren durante las mañanas, entre las 6:00 am y las 11:00 am.
- **Zonas de restricción.** La aplicación por vía aérea de productos agroquímicos en el valle del río Cauca está regulada por la Resolución 099 de 2000, del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). En ella se establece que durante las aplicaciones aéreas debe estar presente un ingeniero agrónomo que verifique las condiciones de la aplicación, y se deben mantener franjas de seguridad de 200 m de distancia de otros cultivos o explotaciones pecuarias y forestales.
- **Seguimiento.** En la quinta semana después de la aplicación se recomienda inspeccionar el cultivo asperjado para evaluar la respuesta al madurador, pues en ese momento es posible identificar algunos síntomas característicos relacionados con el producto, la dosis y la variedad. Por lo general, si se ha aplicado un regulador de crecimiento se observará que los últimos entrenudos son más cortos (Figura 9). De otra parte, en ocasiones, según el tiempo transcurrido después de la aplicación y el volumen de precipitación durante la etapa de maduración, se puede observar la emisión de brotes laterales o “lalas” provenientes de las yemas más cercanas al cogollo.

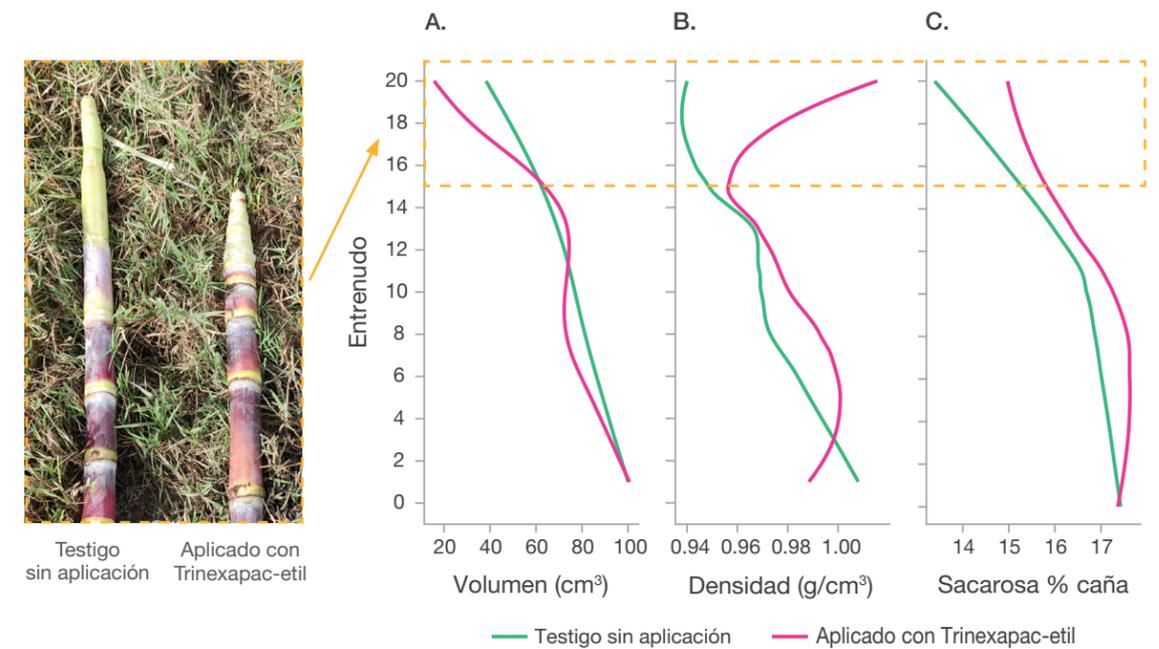


Figura 9. Efecto de trinexapac-etil (8 cc/t) sobre el tamaño (A), densidad (B) y contenido de sacarosa (C) de cada entrenudo del tallo desde la base (1) hasta el ápice (20) a las 10 semanas después de la aplicación.



Paradigmas con el uso de reguladores de crecimiento de crecimiento

El uso de maduradores ha incrementado consistentemente la productividad y la sostenibilidad del sector azucarero en el valle del río Cauca en las últimas décadas (Figura 2). Sin embargo, algunos usuarios de la tecnología suelen expresar inquietudes al respecto, la más común de ellas relacionada con el efecto de los maduradores sobre la producción de caña. Para absolver estas preocupaciones, Cenicaña ha llevado a cabo diferentes ensayos que han demostrado, mediante un metaanálisis, que la aplicación de reguladores de crecimiento puede incrementar la recuperación de sacarosa en 0.6 unidades porcentuales (6 kg de azúcar adicionales por cada tonelada de

caña) sin generar un efecto sin afectar la producción de caña cuando se cosecha entre las 6 y las 12 semanas después de la aplicación (Figura 10).

El uso de reguladores de crecimiento como trinexapac-etil busca reducir la tasa de elongación de los tallos al final del ciclo (Van Heerden et al., 2015). Esta disminución en la elongación ocurre en las hojas del cogollo y principalmente en el tamaño de los últimos 5 o 6 entrenudos apicales (Figura 9). Sin embargo, el peso del tallo no debería afectarse significativamente por la aplicación del regulador de crecimiento, ya que la disminución de la longitud del tallo se ve compensada en

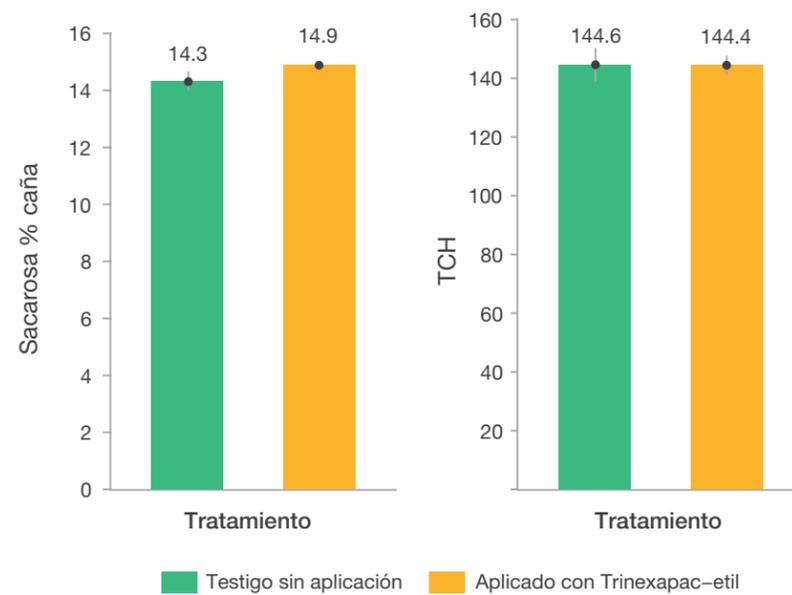


Figura 10. Metaanálisis del efecto de Trinexapac-etil sobre el contenido de sacarosa % caña y el TCH en caña de azúcar cosechada entre las 6 y 12 semanas después de la aplicación. Punto y línea negra representan la media y la desviación estándar de 660 registros en 25 ubicaciones diferentes, respectivamente.

parte con una mayor densidad y concentración de sacarosa de los entrenudos superiores.

Finalmente, otro aspecto que suele ser motivo de preocupación por algunos usuarios de los reguladores de crecimiento es su posible efecto sobre el rebrote de la cepa en el cultivo siguiente. En tal sentido, los seguimientos realizados por Cenicaña a este proceso han demostrado que cañas aplicadas con trinexapac-etil (1.0-2.5 L/ha) presentan un incremento en el macollamiento un mes después del corte (Figura 11), pero luego del proceso natural de autorregulación de la población (cuatro meses) se ha observado la misma cantidad y longitud de tallos, que las cañas no tratadas. Por tanto, se puede concluir que la práctica de maduración inducida, realizada con criterios técnicos, puede generar grandes beneficios sobre la recuperación de sacarosa

en corto tiempo, sin efectos negativos sobre la producción y la sostenibilidad del cultivo de caña de azúcar.

La práctica de maduración inducida, realizada con criterios técnicos, puede generar grandes beneficios sobre la recuperación de sacarosa en corto tiempo, sin efectos negativos sobre la producción y la sostenibilidad del cultivo de caña de azúcar.

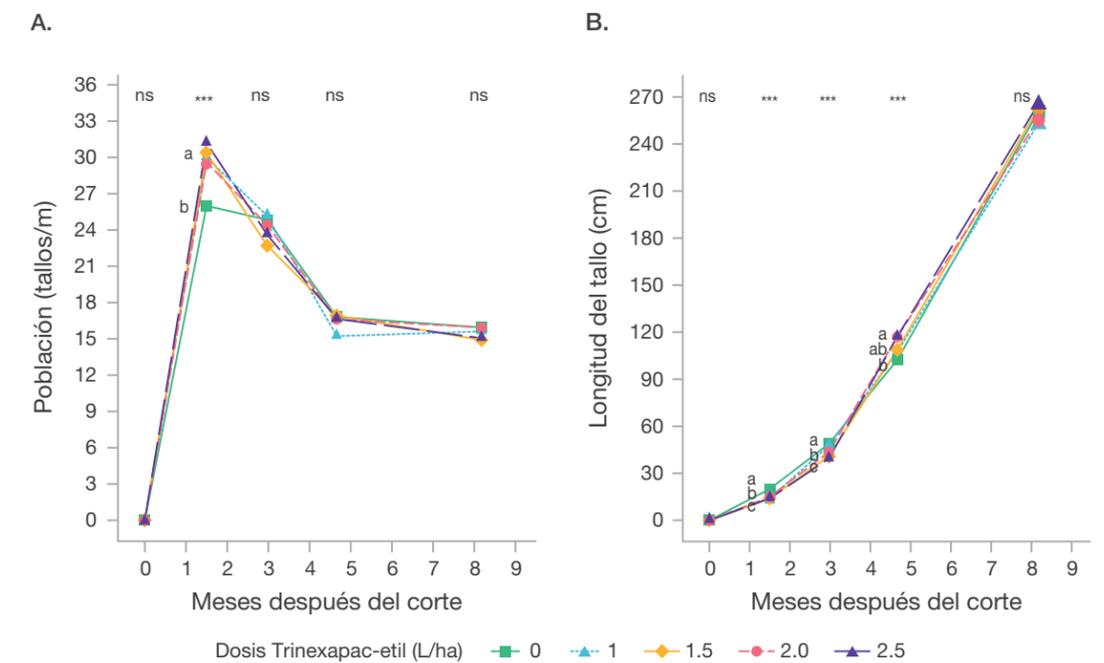


Figura 11. Efecto de diferentes dosis de Trinexapac-etil sobre la dinámica poblacional de tallos por metro lineal (A) y su longitud (B) posterior al corte en la variedad CC 11-600. Asteriscos indican p-valores (ns, >0.05; ***, <0.001) del análisis de varianza correspondientes a las diferencias entre tratamientos por punto de muestreo (n=4). Medias con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

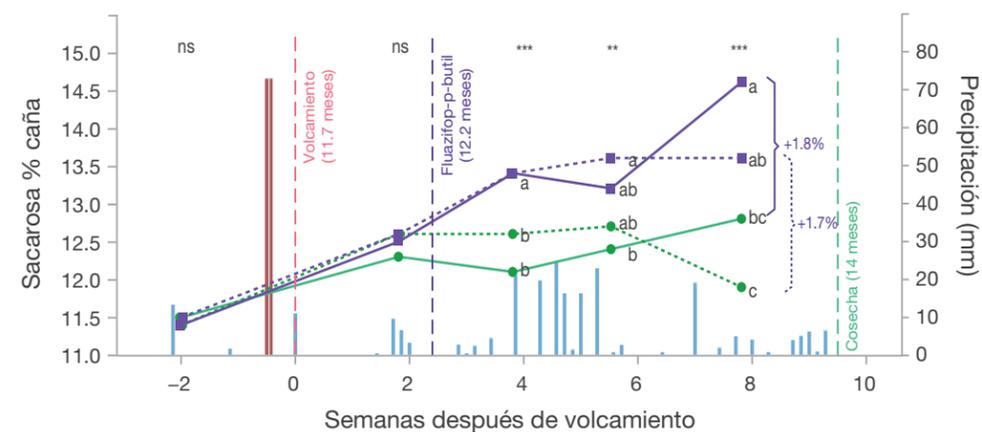
Aplicación de maduradores en cañas volcadas

El fenómeno de volcamiento puede ocurrir por varios factores como alta producción de caña, riegos tardíos y condiciones extremas de viento. El volcamiento disminuye el contenido de sacarosa en los tallos y esto es más frecuente en las variedades de alta productividad. Por esta razón, el uso de maduradores puede ser una alternativa para maximizar la recuperación de sacarosa en estas condiciones adversas.

La recomendación en caso de volcamiento es primero evaluar qué porcentaje de la suerte tiene esta condición, si es bajo, se puede realizar la aplicación de madurador de manera convencional. Sin embargo, si un alto porcentaje de la suerte presenta esta condición, es mejor brindar una ventana de tiempo prudente (2-4 semanas) para darle la oportunidad al cultivo de que reinicie su crecimiento cuando el ápice de los tallos apunte nuevamente en una dirección vertical.

En caso de que el volcamiento ocurra cerca de la época de cosecha, se puede hacer una aplicación de fluazifop-p-butil una vez la caña haya reiniciado el crecimiento para programar el corte en un periodo de 6 semanas. Un estudio realizado en una condición fuerte de volcamiento ha demostrado que la aplicación de Fluazifop-p-butil 5 cc/t generó una recuperación de hasta 1.7 unidades porcentuales adicionales de sacarosa (17 kg de azúcar por tonelada de caña cortada) independiente de la condición del tallo (erecto o volcado, **Figura 12**).

Son pocos los estudios realizados donde se haya evaluado la respuesta de la aplicación de maduradores en cañas volcadas, por consiguiente, es necesario recopilar más información para conocer la efectividad del madurador de acuerdo con la época de volcamiento, el tipo de productos y las dosis a utilizar.



Tratamiento: ● Testigo ■ Fluazifop-p-butil 5 cc/t Estado del tallo: — Erecto ... Volcado Fuente: ■ Precipitación ■ Riego

Figura 12. Efecto de la aplicación de fluazifop-p-butil (5 cc/t) sobre el contenido de sacarosa en caña volcada durante la etapa de maduración.

Medias con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Beneficios de la aplicación de maduradores

El beneficio directo de la aplicación de un madurador está representado por el incremento del rendimiento de azúcar que se obtiene independiente de la época del año. La información promedio de todo el sector para el año 2020 mostró que durante la época más lluviosa (marzo-mayo) se presentó una reducción natural del rendimiento (**Figura 13A**). Sin embargo, la aplicación de maduradores en esta época representó un incremento del rendimiento en 1.0 unidad porcentual adicional. Durante los meses menos lluviosos (junio-agosto) los rendimientos tienden a ser naturalmente más altos, pero con la aplicación de maduradores subieron entre 0.6 y 0.8 unidades porcentuales adicionales. Estas cifras muestran los beneficios de la maduración inducida independiente de la época del año, sin afectar la producción de caña (**Figura 13B**).

Inducir la maduración es, por consiguiente, una práctica altamente rentable, si se considera

que el producto y su aplicación por medio de un dron o un ultraliviano tiene un costo aproximado de 0.5 kg de azúcar por tonelada de caña cortada (Villegas, 2010), que puede ser cubierto ampliamente con los incrementos que genera una buena práctica de maduración (5 kg), como se ha mencionado anteriormente (**Figura 8**). Adicional a estos beneficios económicos, con la aplicación de maduradores es posible aumentar la producción de azúcar por unidad de área (TAH) en corto tiempo, con un reducido costo económico y sin afectar el cultivo ni el medio ambiente.

El beneficio directo de la aplicación de un madurador está representado por el incremento del rendimiento de azúcar que se obtiene independiente de la época del año.

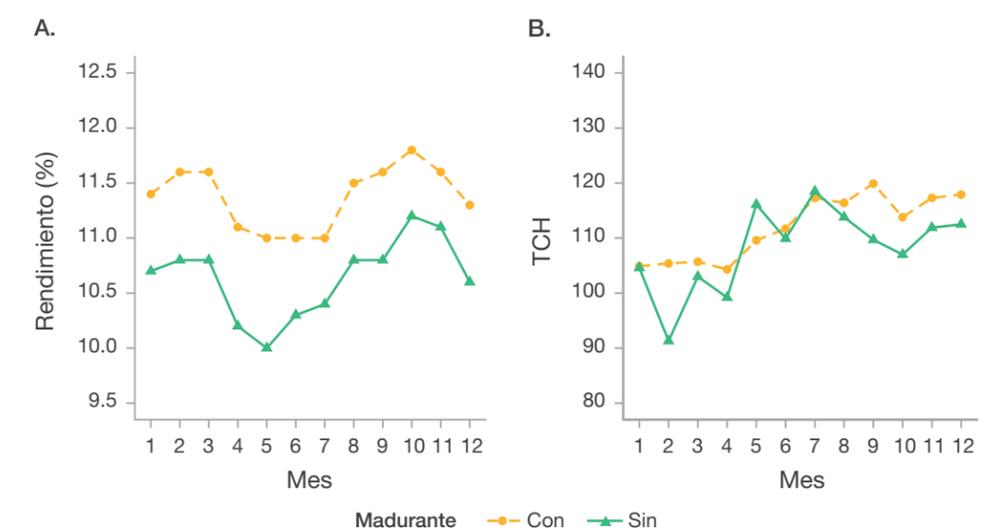


Figura 13. Información consolidada del rendimiento (A) y TCH (B) promedio del sector de la caña de azúcar en el valle del río Cauca por la aplicación de maduradores durante 2020.

Conclusión

La maduración inducida es una práctica de cultivo altamente rentable que ha generado mayor competitividad y sostenibilidad al sector azucarero. Sin embargo, como cualquier práctica de cultivo, debe realizarse con todos los criterios técnicos que aseguren una adecuada selección de productos, dosis, manejo de equipos de aplicación, volúmenes de descarga, etc., que permitan incrementar los rendimientos esperados al momento de la cosecha sin afectar su productividad.

En las últimas décadas se han realizado gran cantidad de avances científicos respecto al manejo de la maduración inducida. Por su parte, Genicaña continúa evaluando nuevos productos, dosis y esquemas de aplicación especialmente en variedades promisorias, con el fin de seguir construyendo información técnica base que permita optimizar la producción de azúcar en el valle del río Cauca.

Referencias

- Almeida Silva M., Caputo M. M. (2012). Ripening and the use of ripeners for better sugarcane management. *Crop Management - Cases and tools for higher yield and sustainability, February*. <https://doi.org/10.5772/28958>
- Azania C., Rossini L., Cabral R., Perecin D., Padua A. (2013). The use of glyphosate in sugarcane: a Brazilian experience. In *Intech* (Vol. 32, Issue July, pp. 137–144).
- Azzi G., Alves A., Kumar A. (1978). Chemical ripener studies with polaris in sugarcane in Northeast Brazil. *International Society Sugar Cane Technologist (ISSCT)*, pp. 1653–1670.
- Broadley M., Brown P., Cakmak I., Rengel Z., Zhao F. (2011). Function of nutrients: Micronutrients. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants: Third Edition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>
- Cenicafía (2022). Informe Anual. Cali.
- Chacravarti A., Srivastava D., Khanna I. (1956). Application of phytohormone to sugarcane. *International Society Sugar Cane Technologist (ISSCT)*, pp. 355–364.
- Chen Z., Qin C., Wang M., Liao F., Liao Q., Liu X., Li Y., Lakshmanan P., Long M., Huang D. (2019). Ethylene-mediated improvement in sucrose accumulation in ripening sugarcane involves increased sink strength. *BMC Plant Biology*, 19(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1882-z>
- Coleman R., Todd E., Stokes I., Coleman O. (1960). The effect of gibberellic acid on sugarcane. *International Society Sugar Cane Technologist (ISSCT)*, 588–603.
- Cuhra M., Bohn T., Cuhra, P. (2016). Glyphosate: Too much of a good thing? *Frontiers in Environmental Science*, 4(APR), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00028>
- Dreyer I., Gómez-Porras J. L., Riedelsberger J. (2017). The potassium battery: a mobile energy source for transport processes in plant vascular tissues. *New Phytologist*, 216(4), 1049–1053. <https://doi.org/10.1111/nph.14667>
- Du W., Pan Z. Y., Hussain S. B., Han Z. X., Peng S. A., Liu Y. Z. (2020). Foliar supplied boron can be transported to roots as a boron-sucrose complex via phloem in citrus trees. *Frontiers in Plant Science*, 11(March), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00250>
- Faria A. T., Ferreira E. A., Rocha P. R. R., Silva D. V., Silva A. A., Fialho C. M. T., Silva A. F. (2015). Effect of trinexapac-ethyl on growth and yield of sugarcane. *Planta Daninha*, 33(3), 491–497. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000300011>
- Gravois K., Viator H., Reagan G., Beuzelin J., Griffin J., Tubana B., Hoy J., Agents C. (2001). *Sugarcane Production Handbook – 2001*.
- Hammond J. P., White P. J. (2008). Sucrose transport in the phloem: Integrating root responses to phosphorus starvation. *Journal of Experimental Botany*, 59(1), 93–109. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm221>
- Lemoine R., La Camera S., Atanassova R., Dédaldéchamp F., Allario T., Pourtau N., Bonne-main J. L., Laloï M., Coutos-Thévenot P., Maurousset L., Faucher M., Girousse C., Lemonnier P., Parrilla J., Durand M. (2013). Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science*, 4(Jul), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00272>
- Liu Z., Li P., Sun X., Zhou F., Yang C., Li L., Matsumoto H., Luo X. (2017). Fluazifop-P-butyl induced ROS generation with IAA (indole-3-acetic acid) oxidation in *Acanthospermum hispidum* D.C. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 143(October), 312–318. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.10.005>
- Luo X., Matsumoto H., Usui K. (2001). Comparison of physiological effects of fluazifop-butyl and sethoxydim on oat (*Avena sativa* L.). *Weed Biology and Management*, 1(2), 120–127. <https://doi.org/10.1046/j.1445-6664.2001.00019.x>
- Melgar M., Meneses A., Orozco H., Pérez O., Espinosa R. (2014). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. Artemis Edineter SA.
- Mishra S., Heckathorn S. (2016). Boron stress and plant carbon and nitrogen relations. In *Progress in Botany* (pp. 333–355). https://doi.org/10.1007/978-3-319-25688-7_11
- Moore P., Botha C. F. (2015). *Sugarcane physiology, biochemistry & functional biology* (Vol. 53, Issue 9). Wiley Blackwell.
- Quevedo-Amaya Y.M., Sandoval-Pineda J.F., Lopez M.L. 2021. Mejoramiento de la dinámica natural de la acumulación de sacarosa en variedades de alto tonelaje. *Revista Tecnicaña*. 52:12-14.
- Romero R., Scandaliaris J., Rufino M. (2000). *Fluazifop butil. Su empleo como madurador químico de la caña de azúcar en Tucumán - Argentina*.
- Solomon S., Li Y. rui. (2004). Chemical ripening of sugarcane: Global progress and recent developments in China. *Sugar Tech*, 6(4), 241–249. <https://doi.org/10.1007/BF02942504>

- Spaunhorst D. J., Todd J. R. & Hale A. L. (2019). Sugarcane cultivar response to glyphosate and trinexapac-ethyl ripeners in Louisiana. *PLoS ONE*, 14(6), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218656>
- Su L. Y., De la Cruz A., Moore P. H., Maretzki A. (1992). The relationship of glyphosate treatment to sugar metabolism in sugarcane: new physiological insights. *Journal of Plant Physiology*, 140(2), 168–173. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80929-6](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80929-6)
- Unigarro C., Villegas F. (2020). Effects of meteorological variables on sugarcane ripening in the Cauca River Valley, Colombia. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 50, 1–8. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v50i060815>
- Van Heerden P. D. R., Mbatha T. P. Ngxaliwe S. (2015). Chemical ripening of sugarcane with trinexapac-ethyl (Moddus®) — Mode of action and comparative efficacy. *Field Crops Research*, 181, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.06.013>
- Villegas F. (2010). *Maduración y uso de maduradores en caña de azúcar*.
- Villegas F., Arcila J. (1995). Uso de madurantes. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*, 394.
- Wang J., Nayak S., Koch K., Ming R. (2013). Carbon partitioning in sugarcane (*Saccharum* species). *Frontiers in Plant Science*, 4(Jun). <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00201>
- Wimmer M. A., Abreu I., Bell R. W., Bienert M. D., Brown P. H., Dell B., Fujiwara T., Goldbach H. E., Lehto T., Mock H. P., Von Wirén N., Bassil E., Bienert G. P. (2020). Boron: an essential element for vascular plants: A comment on Lewis (2019) 'Boron: the essential element for vascular plants that never was.' *New Phytologist*, 226(5), 1232–1237. <https://doi.org/10.1111/nph.16127>
- Wu W., Du K., Kang X., Wei H. (2021). The diverse roles of cytokinins in regulating leaf development. *Horticulture Research*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00558-3>

LOS AUTORES

Jhon Felipe Sandoval-Pineda

Ingeniero agrónomo y magíster en fisiología de cultivos de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Jhon Felipe desempeña su labor en Cenicaña como Coordinador del área de Fito-tecnia investigando estrategias innovadoras y sostenibles para el manejo de la maduración inducida en caña de azúcar a lo largo del valle del río Cauca.

Fernando Villegas T.

Ingeniero agrícola del convenio entre la Universidad del Valle y la Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira). Es Magíster en Suelos y Aguas de la Universidad Nacional de Colombia. Se vinculó a Cenicaña en 1984, al Programa de Agronomía, en donde realizó investigación en las áreas de manejo de aguas, prácticas culturales, mecanización agrícola y maduración de la caña de azúcar. En esta última área, trabajó en proyectos con énfasis en evaluación de maduradores, el mejoramiento del contenido de sacarosa de las nuevas variedades y en el estudio de los factores que afectan la productividad del cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Desde junio de 2018 se desempeña en la jefatura del Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología de Cenicaña.