



CENTRO DE INVESTIGACIÓN
DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA

Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 93-4418



Cali, Colombia
Abril de 2016



**Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia**

Cenicaña es una corporación privada, sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, Asocaña, y financiada con donaciones directas de los ingenios azucareros y los proveedores de caña de azúcar localizados en el valle del río Cauca.

Su misión es contribuir al desarrollo, la competitividad y la sostenibilidad del sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia, mediante la generación de conocimiento y la innovación tecnológica, a través de la investigación, la transferencia de tecnología y la prestación de servicios especializados, con base en un sistema integrado de gestión, para que el sector sea reconocido por sus aportes socioeconómicos y la conservación ambiental de las zonas productoras de caña de azúcar.

Así, el Centro favorece la innovación en la agroindustria gestionando proyectos de investigación y desarrollo acordes con la planeación estratégica del sector productivo. Dirige programas de investigación en variedades, agronomía y procesos de fábrica, y servicios especializados en información y documentación, tecnología informática, análisis económico y estadístico, cooperación técnica y transferencia de tecnología.

En sus funciones de apoyo sectorial, Cenicaña administra la Red Meteorológica Automatizada y la Red PM-10 de la agroindustria azucarera en el valle del río Cauca. Atiende solicitudes de importación de variedades en Colombia y presta servicios de propagación y multiplicación de variedades, análisis de suelo y tejido foliar, inspección fitopatológica en campo y laboratorio, diagnóstico de enfermedades de la caña de azúcar, e información y documentación.

Estación Experimental, vía Cali-Florida km 26. San Antonio de los Caballeros, Florida (Valle del Cauca, Colombia).

Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 93-4418

Editor:

Carlos Arturo Viveros Valens, Ph. D.

Cali, Colombia
Abril de 2016

Viveros Valens, Carlos Arturo

Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 93-4418 / Carlos Arturo Viveros Valens (Ed.). – Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2016. 116 p.; 28 cm. (Serie Técnica No. 39).

ISBN: 978-958-8449-19-7

Incluye referencias bibliográficas

1. Caña de azúcar. 2. CC 93-4418. 3. Variedades. 4. Genealogía. 5. Morfología. 6. Cosecha. 7. Caracterización molecular. 8. Fisiología. 9. Nutrición. 10. Semilla. 11. Semilleros. 12. Germinación. 13. Respuesta al agua. 14. Productividad. 15. Riego con caudal reducido. 16. Control de malezas. 17. Enfermedades. 18. Control de plagas. 19. Maduración. 20. Pérdidas de sacarosa.

I. Título.

633.6 CDD 23 ed.

V857

Cenicaña - Biblioteca Guillermo Ramos Núñez.

Copyright © 2016 por Cenicaña®

Dirección postal: Calle 58 Norte 3BN-110. Cali, Colombia.

Estación Experimental: vía Cali-Florida km 26,
San Antonio de los Caballeros, Colombia.

www.cenicana.org
buzon@cenicana.org

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este libro, por cualquier medio, sin permiso escrito de Cenicaña.

Producción editorial: Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología.

Cita bibliográfica:

Viveros Valens, C.A. (Ed.). 2016. Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 93-4418. Cenicaña, Cali. 116 p. (Serie Técnica No. 39).

Contenido

	Página
Presentación	5
Resumen	9
Introducción	11
Genealogía	12
Morfología	12
Caracterización molecular	15
Fisiología	16
Formación de la producción	16
Crecimiento	17
Captura de la radiación, producción de biomasa y tonelaje	20
Fotosíntesis y eficiencia en el uso del agua	24
Respuesta de la fotosíntesis a la luz	24
Relación de la eficiencia en el uso del agua (WUE) y la radiación ...	26
Acumulación de sacarosa	25
Nutrición	32
Acumulación de nutrientes y niveles críticos foliares	32
Semilla y semilleros	39
Germinación	41
Respuesta al agua	46
Efecto sobre la producción de un alto nivel freático	48
Riego con caudal reducido en zona plana	49
Control de malezas	52
Resistencia a enfermedades	52
Manejo de insectos plaga	54
Barrenadores del tallo, <i>Diatraea</i> spp.	55
Pulgón amarillo, <i>Sipha flava</i>	55
Salivazo de la caña de azúcar, <i>Aeneolamia varia</i>	56

Maduración	56
Estabilidad agronómica de la productividad	60
Análisis combinado de varianza a través de localidades (Loc: ingenio x corte).....	62
Análisis de medias	63
Análisis de estabilidad fenotípica por AMMI y modelo de regresión por sitios x genotipos (SREG) y biplot GGE.....	65
Toneladas de sacarosa por hectárea (TSH).....	66
Análisis de impacto en productividad y utilidad de la variedad CC 93-4418 para el sector azucarero 2011-2014.....	69
Resultados por zona agroecológica: 2006-2014	74
Pérdidas de sacarosa asociadas a tiempos de permanencia y comportamiento industrial	78
Ingenio María Luisa.....	78
Pérdidas de sacarosa por tiempo de permanencia	80
Ingenio Mayagüez	81
Pérdidas de sacarosa por tiempo de permanencia	82
Laboratorio de caña.....	85
Análisis de jugos.....	85
Parámetros de molienda	85
Bagazo final.....	86
Caracterización fisicoquímica de materiales de proceso	86
Comportamiento en la cosecha	90
Evaluación de la variedad CC 93-4418 en el ingenio María Luisa.....	90
Evaluación de la variedad CC 93-4418 en el ingenio Mayagüez.....	92
Comportamiento de CC 93-4418 frente a CC 85-92 a través de los cortes.....	95
Análisis de la productividad comercial de variedades en el periodo 2010-2015	98
Agradecimientos	102
Referencias bibliográficas.....	103
Lista de figuras	109
Lista de cuadros	113

Presentación

Entregamos en esta Serie Técnica la información disponible sobre la variedad CC 93-4418, obtenida por Cenicaña como un producto de la investigación en mejoramiento genético, que contribuye al desarrollo sostenible de la agroindustria de la caña de azúcar en Colombia.

Seleccionada y recomendada por el Centro de Investigación por sus cualidades agronómicas, sanitarias y de productividad en ambientes semi-secos, la CC 93-4418 fue la tercera variedad con mayor porcentaje de área sembrada en el año 2015 en el valle geográfico del río Cauca y la segunda más cosechada, tanto en tierras de los ingenios azucareros como en tierras de los proveedores de caña.

Los resultados comerciales de la nueva variedad muestran su superioridad con respecto a la CC 85-92 en términos económicos y de productividad, lo cual confirma los beneficios de la inversión en investigación y de la adopción de los desarrollos tecnológicos con el enfoque de la agricultura específica por sitio en el sector azucarero colombiano.

Como se documenta en esta publicación, la obtención y el desarrollo de una variedad de caña de azúcar requiere al menos diez años de investigación y otros tantos de validación a escala semicomercial y comercial para obtener los frutos esperados. El trabajo conjunto y coordinado de investigadores y usuarios de la tecnología es una de las claves del éxito, por lo cual destacamos la contribución de quienes han colaborado en este propósito.

Álvaro Amaya Estévez
Director general, Cenicaña

Colaboradores

Genealogía

Carlos Arturo Viveros Valens. Ingeniero agrónomo, Ph. D.
Cenicaña, fitomejorador, caviveros@cenicana.org

Morfología

Carlos Arturo Viveros Valens. Ingeniero agrónomo, Ph. D.
Cenicaña, fitomejorador, caviveros@cenicana.org

Caracterización molecular

Jershon López Gerena. Biólogo, Ph. D.
Cenicaña, biotecnólogo, jlopez@cenicana.org

Fisiología

Miguel Ángel López Murcia. Ingeniero agrónomo, M. Sc.
Cenicaña, fisiólogo, malopez@cenicana.org

Nutrición

Fernando Muñoz Arboleda. Ingeniero agrónomo, Ph. D.
Cenicaña, edafólogo, fmunoz@cenicana.org

Semilla y semilleros

Juan Carlos Ángel Sánchez. Ingeniero agrónomo, M. Sc.
Cenicaña, fitopatólogo, jcangel@cenicana.org

Germinación

Fernando Villegas Trujillo. Ingeniero Agrícola, M. Sc.
Cenicaña, ingeniero de mecanización agrícola, fvillegas@cenicana.org
Carolina Ramírez Carabalí. Ingeniera agrícola.
Cenicaña (enero-diciembre 2006), estudiante en pasantía (tesis),
Universidad de Valle, Programa Académico de Ingeniería Agrícola, Escuela
de Recursos Naturales y del Medio Ambiente.

Respuesta al agua

Armando Campos Rivera. Ingeniero agrícola, M. Sc.
Cenicaña, asesor en manejo de aguas, acampos@cenicana.org
Doris Micaela Cruz Bermúdez. Ingeniera agrícola.
Cenicaña, investigadora en manejo de aguas, dmcruz@cenicana.org

Efecto sobre la producción de un alto nivel freático

Paulo Jose Murillo Sandoval. Ingeniero topográfico.

Cenicaña (febrero 2008-enero 2014), analista de percepción remota.

Javier Alí Carbonell González. Ingeniero agrícola M. Sc.

Cenicaña, director Programa de Agronomía, jacarbonell@cenicana.org

Riego con caudal reducido en zona plana

Armando Campos Rivera. Ingeniero agrícola, M. Sc.

Cenicaña, asesor en manejo de aguas, acampos@cenicana.org

Doris Micaela Cruz Bermúdez. Ingeniera Agrícola

Cenicaña, investigadora en manejo de aguas, dmcruz@cenicana.org

Control de malezas

Jorge Enrique Pantoja Córdoba. Ingeniero agrónomo, M. Sc.

Ingenio Mayagüez, director División de Agronomía,

jepantoja@ingeniomayaguez.com

Resistencia a enfermedades

Juan Carlos Ángel Sánchez. Ingeniero agrónomo, M. Sc.

Cenicaña, fitopatólogo, jcangel@cenicana.org

Jorge Ignacio Victoria Kafure. Ingeniero agrónomo, Ph. D.

Cenicaña, director Programa de Variedades, jivictoria@cenicana.org

Manejo de insectos plaga

Germán Andrés Vargas Orozco. Ingeniero agrónomo, Ph. D.

Cenicaña, entomólogo, gavargas@cenicana.org

Maduración

Fernando Villegas Trujillo. Ingeniero agrícola, M. Sc.

Cenicaña, ingeniero de mecanización agrícola, fvillegas@cenicana.org

Estabilidad agronómica de la productividad

Fredy Antonio Salazar Villareal. Ingeniero agrónomo, Ph. D.

Cenicaña, fitomejorador, fsalazar@cenicana.org

Análisis de impacto en productividad y utilidad de la variedad CC 93-4418 para el sector azucarero 2011-2014

Carlos Arturo Moreno Gil. Estadístico, M. Sc.

Cenicaña, biometrista, camoreno@cenicana.org

Claudia Posada Contreras. Economista, M. Sc.

Cenicaña, economista, cposada@cenicana.org

Pérdidas de sacarosa asociadas a tiempos de permanencia y comportamiento industrial

Nicolás Javier Gil Zapata. Ingeniero químico, Ph. D.
Cenicaña, director Programa de Procesos de Fábrica, njgil@cenicana.org

Santiago Orduz Aladino. Ingeniero mecánico.
Cenicaña (junio 2012-2015), ingeniero mecánico, sorduz@cenicana.org

Stephania Imbachí Ordóñez. Ingeniera química.
Cenicaña, ingeniera química, simbachí@cenicana.org

Tatiana Sánchez Motta. Química, Ph. D.
Cenicaña, química jefe, tsanchez@cenicana.org

Camilo Jaramillo Marulanda. Ingeniero agrónomo.
Ingenio María Luisa, líder Equipo de Gerencia,
cajaramillo@ingeniomarialuisa.com

Alexander Bohórquez Páez. Ingeniero agrónomo.
Ingenio María Luisa (2005). Líder Equipo de Agronomía.

Jesús Larrahondo Aguilar. Químico, Ph. D.
Cenicaña (enero 1981-diciembre 2010), químico jefe.

Comportamiento en la cosecha

Alexander Morales. Ingeniero agrónomo.
Ingenio Mayagüez, jefe de cosecha manual, madurantes y precosecha,
almorales@ingeniomayaguez.com

Héctor Alberto Chica Ramírez. Ingeniero agrónomo, M. Sc.
Cenicaña, biometrista, hachica@cenicana.org

Comportamiento de CC 93-4418 frente a CC 85-92 a través de los cortes

Carlos Arturo Viveros Valens. Ingeniero agrónomo, Ph. D.
Cenicaña, fitomejorador, caviveros@cenicana.org

Carlos Arturo Moreno Gil. Estadístico, M. Sc.
Cenicaña, biometrista, camoreno@cenicana.org

Análisis de la productividad comercial de variedades en el periodo 2010-2015

Alberto Efraín Palma Zamora. Matemático, M. Sc.
Cenicaña (enero 1992-julio 2014), biometrista.

Carlos Arturo Moreno Gil. Estadístico, M. Sc.
Cenicaña, biometrista, camoreno@cenicana.org

Claudia Posada Contreras. Economista, M. Sc.
Cenicaña, economista, cposada@cenicana.org

Resumen

La variedad CC 93-4418 es producto del cruzamiento de dos variedades de importancia para la agroindustria azucarera colombiana: la Mex 64-1487, con la cual se lograron los mayores rendimientos de azúcar, y la MZC 74-275. Su selección como Cenicaña Colombia (CC) 93-4418 ocurrió en 1993 en el ambiente semiseco de la subestación de selección y desarrollo, ubicada en el ingenio Sancarlos. En el presente estudio se describen sus características morfológicas y su caracterización molecular, con lo cual se puede identificar la variedad en cualquier parte del mundo donde sea cultivada. Dos aspectos destacables de esta variedad son su resistencia a la roya café y su porte erecto, factor que contribuye a facilitar la cosecha mecanizada. Fue desarrollada para suelos de alta fertilidad y con buen drenaje, como lo corroboraron tanto la prueba regional en el proceso de investigación, como los análisis de suertes comerciales por zonas agroecológicas. Es importante anotar que la variedad CC 93-4418 no tiene el mismo comportamiento en todos los sitios; por lo tanto, se debe identificar correctamente el sitio de siembra para que la variedad pueda desplegar todo su potencial de productividad, y evitar sembrarla específicamente en suelos húmedos y con drenaje deficiente. A 31 de diciembre de 2015 el área sembrada con CC 93-4418 era de 33,900 hectáreas, ocupaba el tercer lugar entre todas las variedades y representaba el 14.6 % del total del área sembrada por la industria. En el periodo 2010-2012, la productividad de CC 93-4418 en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) fue superior a la del resto de variedades más cosechadas, y especialmente notoria frente a la variedad CC 85-92 en los años 2010, 2011 y 2012, cuando la superó en 1.5 TAH, 2.9 TAH y 2.2 TAH, respectivamente. Así mismo, durante 2013 y 2014 estuvo por encima de la CC 85-92 en 2.0 TAH y 1.8 TAH, respectivamente. En 2015 su productividad fue de 14.2 TAH, 1.1 TAH más que CC 85-92.

Los resultados que aquí se presentan son producto del esfuerzo conjunto de los cultivadores, tanto proveedores como diferentes ingenios azucareros, y de los técnicos de Cenicaña en la selección y desarrollo de una variedad que se constituye en una alternativa actual de siembra para el sector azucarero colombiano. Se espera que esta información contribuya a mejorar el conocimiento sobre la variedad en los aspectos de cultivo, cosecha y comportamiento agroindustrial, y promueva su adopción para lograr una mayor productividad de la caña de azúcar en Colombia.

Palabras clave: caña de azúcar, mejoramiento vegetal, variedades, productividad.

Introducción

La variedad Cenicaña Colombia (CC) 93-4418, resultante del cruzamiento entre México (Mex) 64-1487 y Mayagüez Colombia (MZC) 74-275 realizado por el área de Mejoramiento Genético del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), fue seleccionada en el estado I establecido en la subestación de selección Sancarlos en el año 1993. A partir de ese momento se inició su proceso de evaluación y selección a través de diferentes estados, hasta ser sembrada en una prueba regional en diferentes sitios del sector azucarero, en los que se destacó como la de mayor productividad entre un grupo de trece variedades, incluido el testigo CC 85-92, al que superó en más de 7% en toneladas de azúcar por hectárea por mes (TAHM). En Cenicaña el proceso de selección y desarrollo de variedades se realiza con el enfoque de agricultura específica por sitio, y mediante este se comprobó que la variedad tuvo su mejor comportamiento en términos de adaptación y productividad cuando fue sembrada en zonas agroecológicas de ambiente semiseco y eventualmente en algunas zonas de ambiente húmedo donde los suelos estaban muy bien drenados.

Durante el 2014, la CC 93-4418 fue la variedad de mayor productividad entre todas las variedades cosechadas en el valle del río Cauca. En diciembre de ese año los ingenios y los proveedores la habían sembrado en 32,261 hectáreas, equivalentes al 14% del área total de los cultivos de caña de azúcar de la región. Esta variedad comenzó a sembrarse en la región azucarera de Colombia en 2003, y por sus buenos resultados en productividad ha sido una de las más utilizadas en los procesos de renovación en los últimos años. Tan alta productividad —en promedio 1.26 TAHM en 2014— se debe, principalmente, a su amplio rango de adaptación en el ambiente semiseco, aunque esta productividad no ha sido igual en todos los sitios.

Cenicaña presenta en esta Serie Técnica los resultados más sobresalientes de las investigaciones realizadas con la variedad CC 93-4418, entre ellos los relacionados con su obtención, prácticas de cultivo, aspectos fisiológicos, comportamiento sanitario, comportamiento regional en pruebas experimentales y su validación a escala comercial entre 2010 y 2014. Se incluye también un análisis de las cosechas manual y mecánica, aspectos del transporte, así como los resultados del proceso fabril y la información sobre la adopción de la variedad por la industria azucarera colombiana.

Genealogía

La genealogía de una variedad de caña de azúcar es la serie de progenitores y ascendientes de donde proviene. El origen de la variedad CC 93-4418 fue el cruzamiento entre Mex 64-1487 y MZC 74-275. La madre fue la variedad Mex 64-1487, la cual fue sometida a un tratamiento de fotoperiodo para inducir su floración debido a que esta variedad no florece naturalmente en el valle del río Cauca. Como padre se usó la variedad MZC 74-275. Este tipo de cruzamiento recibe el nombre de 'biparental'. El cruzamiento fue el 2018 del año 1991 realizado en la Estación Experimental de Cenicaña en San Antonio de los Caballeros (Florida, Valle del Cauca). De él surgieron 2925 plántulas, y después de descartar aquellas con enfermedades o falta de vigor, 1330 se trasplantaron al campo.

Entre los abuelos maternos y paternos de CC 93-4418 se encuentra la variedad Proef Station Java (POJ) 2878, utilizada en el mundo como progenitor y que en Colombia ha mostrado ser de amplia adaptación. En sus ancestros se detectan materiales tanto de *Saccharum officinarum* como de *Saccharum spontaneum*. La genealogía completa de CC 93-4418 se construyó en parte con la información contenida en los libros de campo del Programa de Variedades de Cenicaña y en parte con la obtenida de las siguientes fuentes: Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de Sao Paulo, Brasil (Copersucar, 1986 y 1991) y Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar, México (Geplacea, 1984). La **Figura 1** muestra esta genealogía.

Morfología

La descripción morfológica de la variedad permite al cultivador identificarla en el campo y contribuye a establecer semilleros de alta pureza varietal. Para el uso correcto de los descriptores que aquí se utilizarán es preciso apoyarse en la información que de ellos aparece en el Catálogo de Variedades publicado por Cenicaña (Victoria *et al.*, 2013).

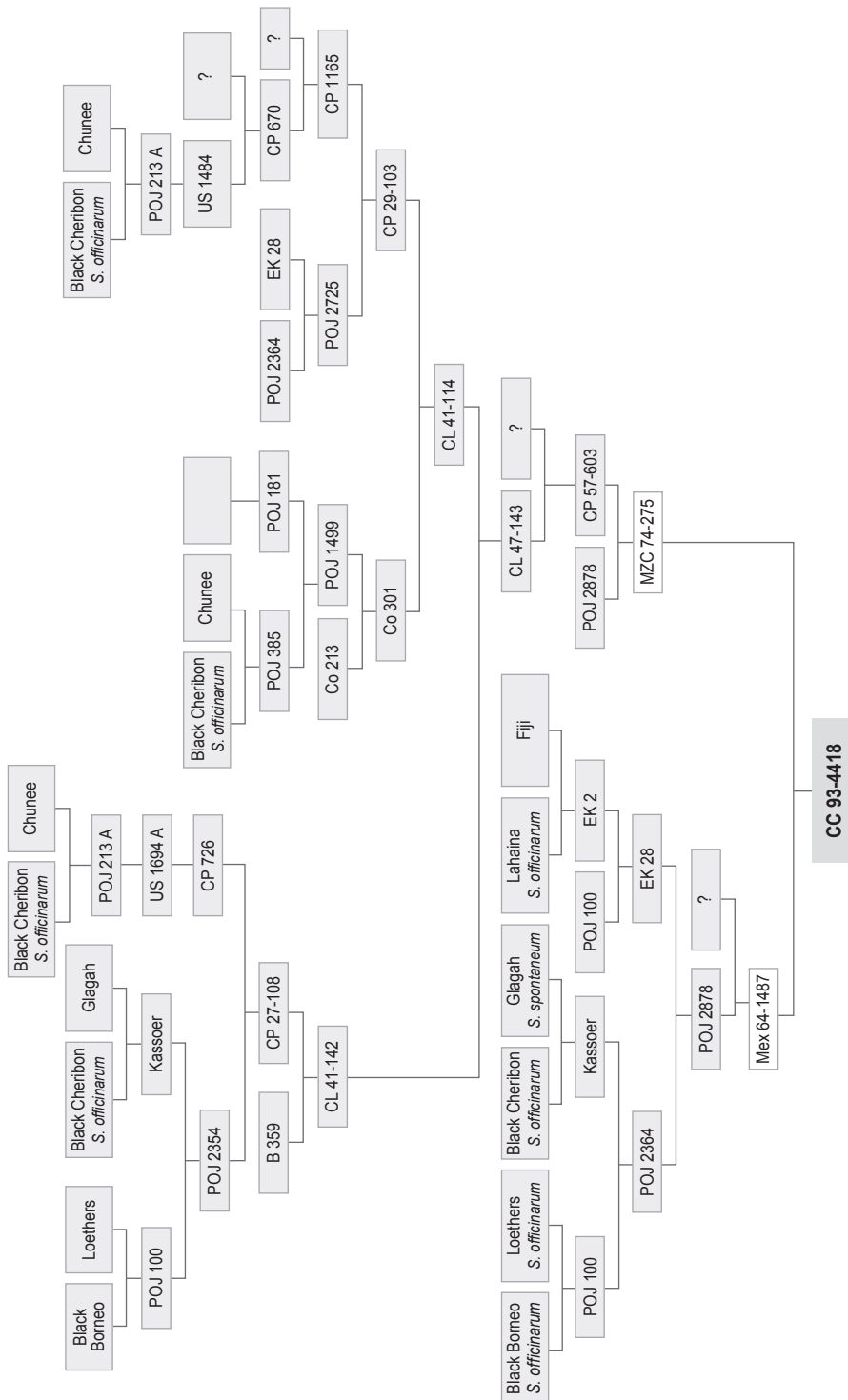


Figura 1. Genealogía de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 93-4418.

La variedad CC 93-4418 posee un tallo de porte alto (**Figura 2A**), levemente decumbente, y entrenudos en suave zig-zag (**Figura 2B**). El entrenudo es cilíndrico, largo, con una longitud entre 13 cm y 16 cm y un diámetro entre 28 mm y 35 mm. El tallo es amarillo morado cuando no está expuesto al sol y morado verdoso cuando lo está. Tiene poca cera y no tiene canal de yema. El nudo muestra un anillo de crecimiento de color amarillo verdoso, no pronunciado, de 3 mm de ancho (**Figura 2C**). No presenta enraizamiento aéreo. La yema es ovalada y no sobrepasa el anillo de crecimiento. La hoja de esta variedad es larga, estrecha y erecta. El deshoje es bueno. Su cuello es rectangular, de color verde morado, y la aurícula es lanceolada corta, media, asimétrica. La yagua es de color verde con vetas moradas (**Figura 2D**) y abundante pelusa.



Figura 2. Planta y partes de la planta de CC 93-4418. A: planta completa; B, nudos y entrenudos; C, nudo mostrando la yema; y D, parte del cogollo mostrando el cuello visible.

Entre los caracteres agronómicos sobresalientes de esta variedad están el de ser erecta y mostrar un crecimiento vigoroso, con un macollamiento entre 12 y 15 tallos por cepa. Su floración es nula o escasa.

Caracterización molecular

En las etapas iniciales del desarrollo del cultivo de la caña de azúcar es difícil distinguir una variedad de otra con la ayuda de descriptores morfológicos y aun para identificar con estos descriptores plantas desarrolladas se requiere conocer características específicas que permitan diferenciar una variedad de otra.

Una herramienta de uso actual para caracterizar una variedad o genotipos de caña son los marcadores moleculares, los cuales permiten generar huellas moleculares únicas para cada individuo, lo que facilita su identificación de una manera más precisa. Por ello, como parte de los elementos presentados por Cenicaña ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en el proceso de registro de sus variedades para obtener los derechos de obtentor y protección de variedades, el Centro viene incluyendo información tanto morfológica como de identificación molecular de las variedades a registrar. Con esta información se busca contar con una herramienta adicional y única de identificación de cada variedad que impida su explotación comercial sin el consentimiento del obtentor.

La caracterización molecular de la variedad CC 93-4418 se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de Cenicaña utilizando tres marcadores microsatélites (CV 29, CV 37 y CV 38), los cuales produjeron un total de 27 bandas polimórficas, que permitieron establecer la huella molecular de esta variedad. La **Figura 3** muestra los segmentos de ADN generados por cada uno de los tres marcadores microsatélites y que componen la huella molecular de la variedad CC 93-4418. De igual manera, y utilizando estos tres iniciadores, se generó la huella molecular de todas las variedades que componen el Banco de Germoplasma de Cenicaña y estos datos han permitido entender las relaciones filiales que existen entre la variedad CC 93-4418 y otras variedades presentes en el germoplasma de Cenicaña. Entre los resultados más sobresalientes se encontró que CC 93-4418 es más cercana genéticamente a la variedad CC 93-4181 que a cualquiera de los otros genotipos que componen el Banco de Germoplasma.

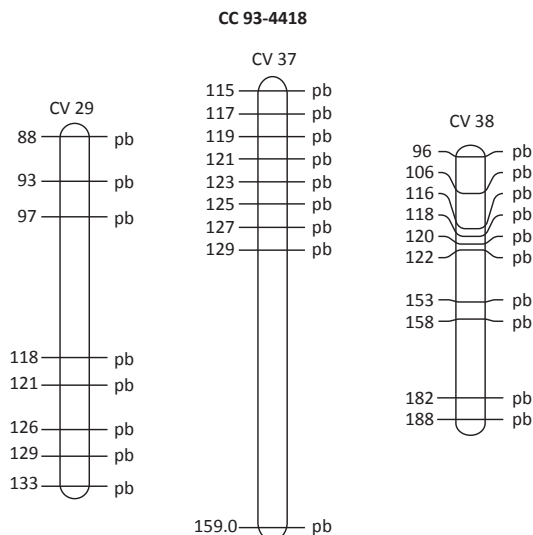


Figura 3. Caracterización molecular de la variedad CC 93-4418 utilizando tres marcadores microsatélites, CV 29, CV 37 y CV 38.

Fisiología

Fisiológicamente la caña de azúcar es una especie C4; de ahí su alto potencial para producir biomasa y su buena respuesta a niveles elevados de radiación fotosintéticamente activa sin exhibir fotosaturación (Hatch, 1999; Taiz y Zeiger, 2006). Las plantas C4 poseen algunas adaptaciones anatómicas y metabólicas que permiten aumentar su eficiencia en la fijación del carbono.

Formación de la producción

La información aquí presentada proviene de experimentos llevados a cabo en dos sitios experimentales:

- **Sitio 1:** Estación Experimental de Cenicaña, zona agroecológica 11H1 (suelo Palmeras, Vertic Haplustoll de familia textural francosa-fina) y zona 23H1 (suelo Refugio, Entic Haplusterts de familia textural arcillosa sobre arenosa).
- **Sitio 2:** Ingenio Mayagüez, hacienda Las Margaritas, suerte 2C, zona agroecológica 11H1 (suelo Palmira, Pachic Haplustolls de familia textural francosa fina).

Es importante mencionar que en el sitio 2 se adelantaron experimentos orientados a obtener el mayor potencial de crecimiento de la variedad, mientras que en el sitio 1 el manejo agronómico fue convencional.

Crecimiento

El comportamiento de la dinámica poblacional de las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 se muestra en la **Figura 4**. Existen diferencias en el patrón de macollamiento de las variedades. Los primeros 3 a 4 meses después de la emergencia (MDE) se caracterizan por un incremento continuo en el número de brotes, estrategia que resulta en un rápido aumento en la captura de la radiación y en consecuencia, en una disminución paulatina de la población de malezas. En todos los casos, después de este periodo de macollamiento y multiplicación activa de la población se observa que esta empieza a autorregularse, lo que se caracteriza por una disminución del número de brotes como resultado de la competencia por agua, luz, nutrientes y espacio.

La variedad CC 93-4418 comparada con CC 85-92 presentó una mayor habilidad de macollamiento, particularmente evidente en los primeros 4 meses del cultivo. En época de máximo macollamiento, alrededor de los 3 meses, CC 93-4418 registró una población cercana a los 90,000 tallos/ha, en tanto la de CC 85-92 fue alrededor de 70,000 tallos (**Figura 4**). Lo anterior evidencia la superior habilidad macolladora de CC 93-4418. Entre los 3-8 MDE, tanto la población de CC 93-4418 como la de CC 85-92 se redujo, en mayor escala en CC 93-4418 que en CC 85-92. En la etapa de cosecha, CC 93-4418 presentó un mayor número de tallos molederos.

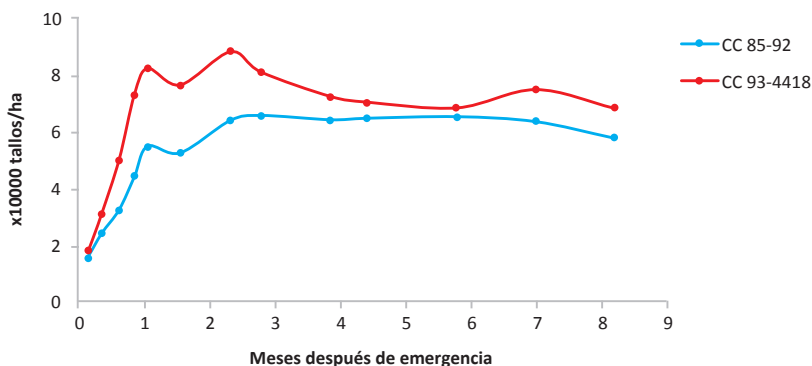


Figura 4. Dinámica de la población de las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 en la Estación Experimental de Cenicaña.

El desarrollo de la población es uno de los principales factores que inciden en la productividad de la variedad CC 93-4418. Así, prácticas de manejo o condiciones que limiten el adecuado curso de este proceso es muy probable que impacten considerablemente su producción.

CC 93-4418 se caracteriza por ser un material compacto de mayor tasa de producción de nudos, y por ende de hojas, comparado con CC 85-92. Con etapas de cosecha a 13 MDE, el número de nudos en CC 93-4418 puede alcanzar valores a punto natural de quiebre de entre 26 y 30, mientras que CC 85-82 muestra entre dos y cuatro entrenudos menos (**Figura 5A**).

En condiciones normales de crecimiento y desarrollo, CC 93-4418 puede presentar entre una y dos hojas verdes más que CC 85-92 (**Figura 5B**). Sin embargo, el largo y el ancho de las hojas de CC 93-4418 son menores que los de CC 85-92, características que en campos con elevada distancia entre surcos pueden hacer que esta variedad requiera mayor tiempo para cerrar completamente las calles.

El número máximo de hojas verdes se presenta entre los 7-8 MDE en CC 93-4418 y entre los 9-10 MDE en CC 85-92. El promedio de aparición de entrenudos por mes durante todo el ciclo del cultivo fue de 2.0 en CC 93-4418 y 1.8 en CC 85-92. A la cosecha las dos variedades llegaron con 6.8 y 7.6 hojas verdes por tallo, donde el último valor corresponde a CC 93-4418. De otra parte, la senescencia mostró un patrón similar entre variedades, con valores máximos de 21 a 22 hojas al final del ciclo. La tasa de senescencia promedio para las dos variedades fue de 1.7 hojas/mes.

La mayor población de CC 93-4418 y su tasa superior de aparición de nudos hacen que la variedad tenga un mayor índice de área foliar (m^2 de hojas funcionales por m^2 de suelo cultivado) y una mayor duración de esta área, lo cual se traduce en un mayor periodo con capacidad para producir biomasa (**Figura 5C**). En síntesis, CC 93-4418 presenta un dosel compacto que le permite captar radiación rápidamente al comienzo del ciclo del cultivo y continuar haciéndolo, en niveles importantes, hasta el final del ciclo.

Durante el periodo de rápida expansión del área foliar (2-6 MDE) es deseable contar con buenas condiciones de crecimiento, tales como altos niveles de radiación, baja competencia por malezas y adecuado suministro de agua y nutrientes. Igualmente, se necesitan altos niveles de radiación para que, sumados al área foliar creciente, promuevan elevadas tasas de fijación de carbono que posteriormente se convertirán en biomasa.

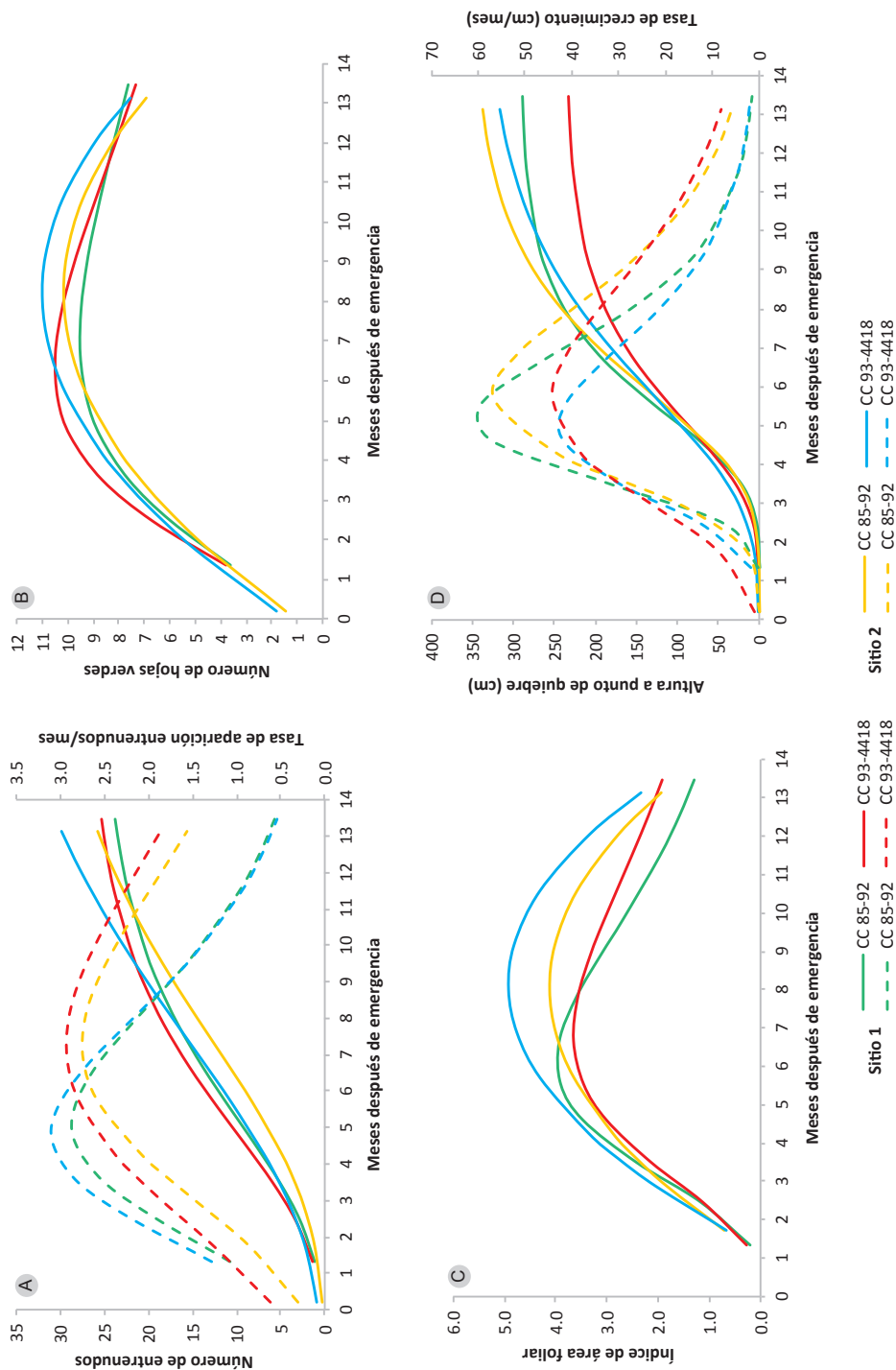


Figura 5. Crecimiento de dos variedades de caña de azúcar cultivadas en dos zonas semisecas del valle del río Cauca. Líneas sólidas corresponden al valor de la variable y líneas punteadas, a las tasas absolutas de crecimiento (TAC).

El porte compacto de la variedad CC 93-4418 se traduce en sus menores tasas de elongación. Durante el periodo crítico de elongación, que comprende entre 5-7 MDE, CC 85-92 puede presentar una tasa de elongación máxima de 10-15 cm/mes, superior a la de CC 93-4418 (**Figura 5D**). Las diferencias que registró este parámetro entre los dos sitios experimentales indican que tanto el manejo agronómico como la oferta ambiental pueden modificar esas tasas de crecimiento. En el sitio 2 el crecimiento fue en promedio 4 cm mayor durante todo el ciclo del cultivo.

Durante el periodo crítico de elongación (5-7 MDE) es indispensable el adecuado suministro de agua al cultivo, dado que el crecimiento por elongación celular se soporta principalmente en la absorción de agua y de los nutrientes disueltos en ella.

Captura de la radiación, producción de biomasa y tonelaje

El proceso de formación de la biomasa implica capturar la radiación solar. Para que esta radiación pueda ser utilizada en la fijación o reducción del carbono, es decir, transformarlo de CO_2 a carbohidratos estructurales y de reserva, se requiere que ella tenga una longitud de onda entre 400-700 nm. Este tipo particular de radiación se denomina radiación fotosintéticamente activa o PAR (Photosynthetic Active Radiation). La disponibilidad de la radiación varía en función del espacio y del tiempo. Así, en cada mes y en cada lugar de la Tierra se presentan condiciones particulares de este recurso.

En la **Figura 6A** se muestra el comportamiento de la fracción de la luz interceptada por las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 en los sitios 1 y 2 de ambiente semiseco en el valle del río Cauca. Una fracción de 1.0 indica la captura del 100% de la radiación incidente neta, y así sucesivamente. En general, los primeros meses de crecimiento del cultivo se caracterizan por cambios rápidos en la fracción de la radiación absorbida, que pasa de cerca del 10% a los 2 MDE, a niveles superiores al 80% a los 4-5 MDE. Estos se explican por el incremento constante de la población y del índice de área foliar durante este periodo.

La variedad CC 93-4418 tiende a presentar mayor absorción de radiación en el interior del dosel debido al mayor número de tallos y hojas verdes, con respecto a CC 85-92. Sin embargo, en relación con el cubrimiento del terreno, su hábito de crecimiento erecto y sus cepas compactas pueden ocasionar cierres de calle relativamente tardíos comparados con CC 85-92 o, en general, con variedades de macollamiento más abierto y de hojas largas. Para

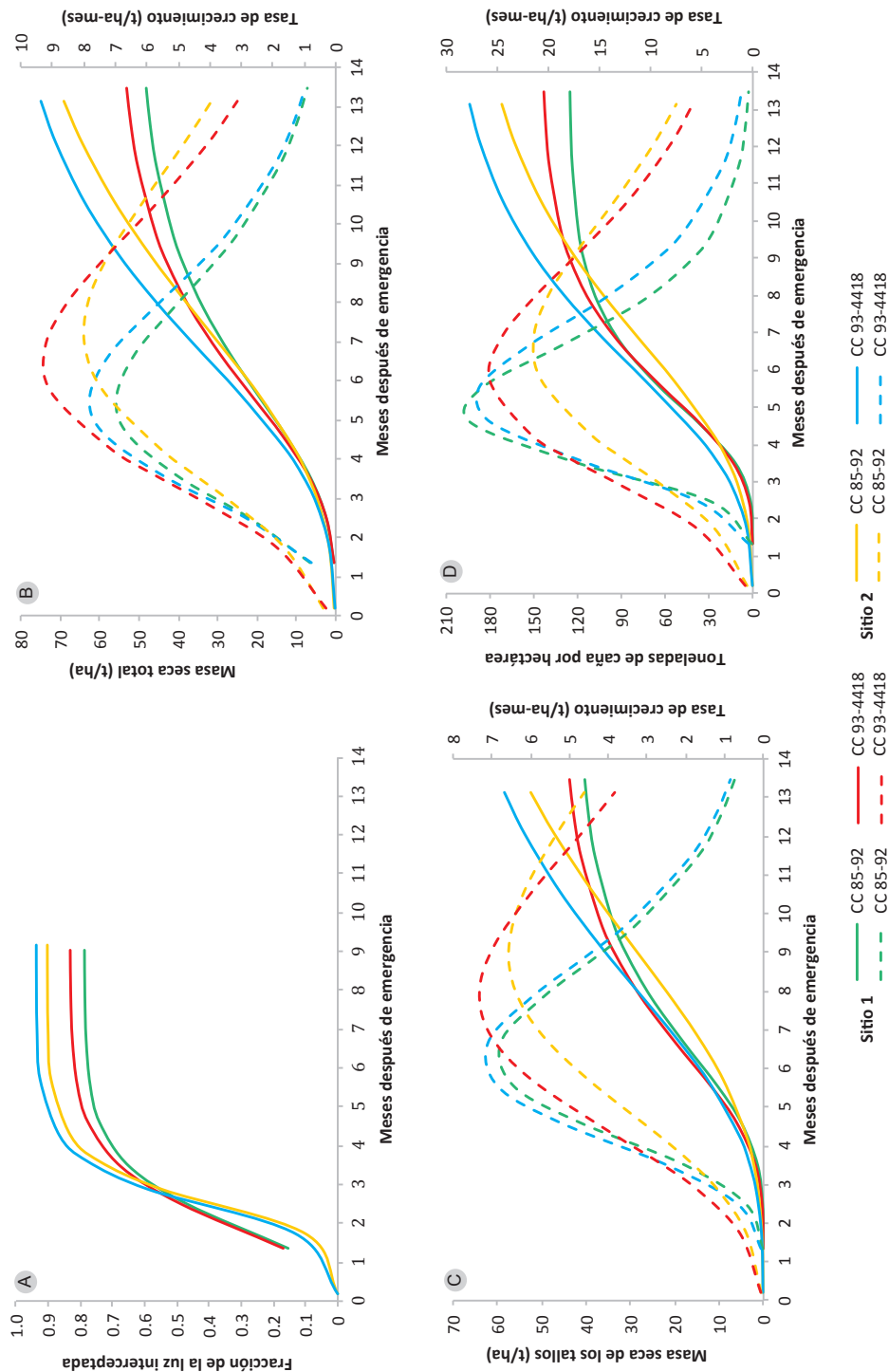


Figura 6. Captura de la radiación solar y producción de biomasa de dos variedades de caña de azúcar cultivadas en dos zonas semisecas del valle del río Cauca. Líneas sólidas corresponden al valor de la variable y líneas punteadas, a las tasas absolutas de crecimiento (TAC).

prever esta eventualidad, puede ser necesario hacer trabajos para rectificar la distancia entre surcos.

La dinámica de acumulación de masa seca total (tallos, hojas, yaguas, cogollos, chulquines, tallos muertos) se ilustra en la **Figura 6B**. En conjunto, el sitio 2 presentó mayor producción de masa seca total. Estas diferencias son atribuibles principalmente a prácticas de manejo, particularmente al riego.

Independientemente de la localidad evaluada, la variedad CC 93-4418 mostró mayor producción de masa seca total. En el sitio 1 la producción de materia seca de esta variedad fue un 10% (5 t/ha) superior a CC 85-92. Las diferencias en producción son favorables no solo porque mejoran las variables de productividad comercial del cultivo (TCH y TAH), sino porque contribuyen con la sostenibilidad del sistema ya que aportan al suelo una mayor cantidad de carbono orgánico proveniente de residuos de cosecha.

Los valores máximos de masa seca total para las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 en el sitio 1 fueron, en su orden, 48.1 t/ha y 53.1 t/ha, mientras que en el sitio 2 estos valores fueron 69.1 t/ha para CC 85-92 y 74.9 t/ha para CC 93-4418.

La época crítica en la producción de masa seca del conjunto de órganos que conforman el cultivo es, por lo general, la que abarca los meses 5 al 8. En este periodo es fundamental, por tanto, contar con una disponibilidad adecuada de recursos como agua, luz y nutrientes con el fin de promover máximas tasas de crecimiento y garantizar su sostenibilidad en el tiempo. Las dos localidades presentaron similares épocas críticas de crecimiento; sin embargo, en estas épocas críticas las tasas de crecimiento del sitio 2 fueron superiores a las del sitio 1 y, sobre todo, de mayor duración.

Lo anterior induce a plantear que prácticas de manejo óptimas de la variedad tendrían repercusiones tanto en el valor como en la duración de la tasa de crecimiento máxima. En el sitio 1 las tasas máximas de crecimiento alcanzaron valores de 6.9 t/ha-mes y 7.8 t/ha-mes en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, respectivamente, mientras que en el sitio 2 las tasas máximas de CC 85-92 y CC 93-4418 fueron, en su orden, 8.0 t/ha-mes y 9.2 t/ha-mes.

La masa seca de los tallos (**Figura 6C**) es el resultado de la acumulación de sacarosa, azúcares reductores, nutrientes minerales y fibra en el tallo; elementos que, exceptuando los nutrientes minerales, presentan un valor económico actual o futuro para el sistema productivo de la caña de azúcar.

Al igual que en el caso de la masa seca total, el sitio 2 registró mayores niveles de masa seca en los tallos. Esto corrobora que cuando no se limita el cultivo en su manejo se logra la expresión del potencial genético de las variedades producidas por Cenicaña.

Como se dijo, la época crítica para la ganancia de masa seca por parte de los tallos se sitúa entre 5 MDE y 8 MDE. Pero en el sitio 2 este periodo se prolongó y llegó a alcanzar inclusive los 9 MDE. Los anteriores resultados indican que en estas épocas no se debe descuidar el cultivo en cuanto a prácticas culturales como la disponibilidad de agua y nutrientes porque de lo contrario se afectaría la producción de masa seca de los tallos.

La acumulación de masa fresca en los tallos o formación del TCH se muestra en la **Figura 6D**. Los mayores niveles de producción de caña se presentaron en el sitio 2 con la variedad CC 93-4418: 194 TCH, frente a 172 TCH de la variedad CC 85-92, también en el sitio 2. Esto indica que en condiciones óptimas de crecimiento, la variedad CC 93-4418 muestra productividades superiores, cercanas al 13% (22 TCH), con respecto a CC 85-92. En ambas localidades la variedad CC 93-4418 tuvo mayores rendimientos que CC 85-92.

El inicio de la época crítica para la acumulación de masa fresca se presentó alrededor de los 4 MDE y se extendió hasta los 9 MDE en el sitio 1 y hasta los 11 MDE en el sitio 2. Por ello, el manejo agronómico debe estar orientado a maximizar y sostener altas tasas de crecimiento en este periodo de tiempo. Las máximas tasas de crecimiento en el sitio 1 fueron 28 TCH-mes para CC 85-92 y 27 TCH-mes para CC 93-4418. En el sitio 2, las tasas máximas de crecimiento de las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 fueron 21 TCH-mes y 26 TCH-mes, respectivamente.

Considerando los valores máximos de TCH en el momento de corte y su relación con las tasas máximas de crecimiento, se plantea que la duración del periodo de mayor acumulación de masa fresca o, en general, de cualquier producto del metabolismo de la planta, es más importante que su valor absoluto. Esto indica que, desde el punto de vista agronómico, las prácticas de manejo deben hacerse de manera continua para mantener prolongados periodos de altas tasas de crecimiento. Cuando determinada práctica de manejo se realiza de manera esporádica se puede impactar temporalmente la tasa de crecimiento, pero si este efecto no se sostiene en el tiempo se limita la probabilidad de obtener respuestas significativas en la productividad.

Fotosíntesis y eficiencia en el uso del agua

En una plantilla de 5 meses de edad sembrada en un suelo Vertic Haplustolls, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H1, se llevó a cabo la caracterización de la respuesta de la fotosíntesis y la eficiencia en el uso del agua a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418.

Respuesta de la fotosíntesis a la luz

El comportamiento de la fotosíntesis en función de la luz en ambas variedades fue coherente con el registrado para las especies C4, que en condiciones de radiación normales no muestran una saturación claramente definida. Esto es, la fijación de carbono responde positivamente al incremento en la radiación. Así, a mayor nivel de radiación mayor tasa de fotosíntesis. Los valores máximos de respuesta de la fotosíntesis a la luz fueron de 35.0 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en CC 85-92 (**Figura 7A**) y de 32.7 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en CC 93-4418 (**Figura 7B**), lo cual equivale a 1.54 y 1.44 miligramos de CO_2 por metro cuadrado de hoja por segundo, respectivamente.

A partir de estas curvas se obtuvo la tasa de respiración oscura o nocturna (Rd) y el rendimiento cuántico de la fotosíntesis (ϵ) (**Cuadro 1**). La Rd es una medida de la cantidad de carbono que la hoja utiliza para mantener sus funciones vitales y para promover nuevo crecimiento; así, la respiración representa para cualquier cultivo un gasto necesario de carbono (Hay y Porter, 2006). La tasa de Rd fue de 5.0 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en CC 85-92 y de 4.7 $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en CC 93-4418 (0.22 mg y 0.21 mg). Estos valores de respiración equivalen, aproximadamente, al 14% de la tasa máxima de fotosíntesis. CC 85-92 mostró mayor tasa máxima de fijación de CO_2 , pero también mayor gasto respiratorio.

Cuadro 1. Respuesta de la fotosíntesis a la luz en dos variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Variedad	PCL $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	PSL >2300	A2300 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Rd $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Rd/A2300	$\epsilon \mu\text{mol CO}_2 / \mu\text{mol fotones}$
CC 85-92	122.2	>2300	35.0a	5.0a	0.143	0.043a
CC 93-4418	110.2	>2300	32.7a	4.7a	0.144	0.045a

PCL: Puntos de compensación de luz, **PSL:** Punto de saturación de luz, **A2300:** Fotosíntesis a 2300 $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, **Rd:** Respiración oscura, **Rd/A2300:** Relación entre la respiración oscura y la fotosíntesis a 2300 $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y ϵ : Rendimiento cuántico de la fotosíntesis.

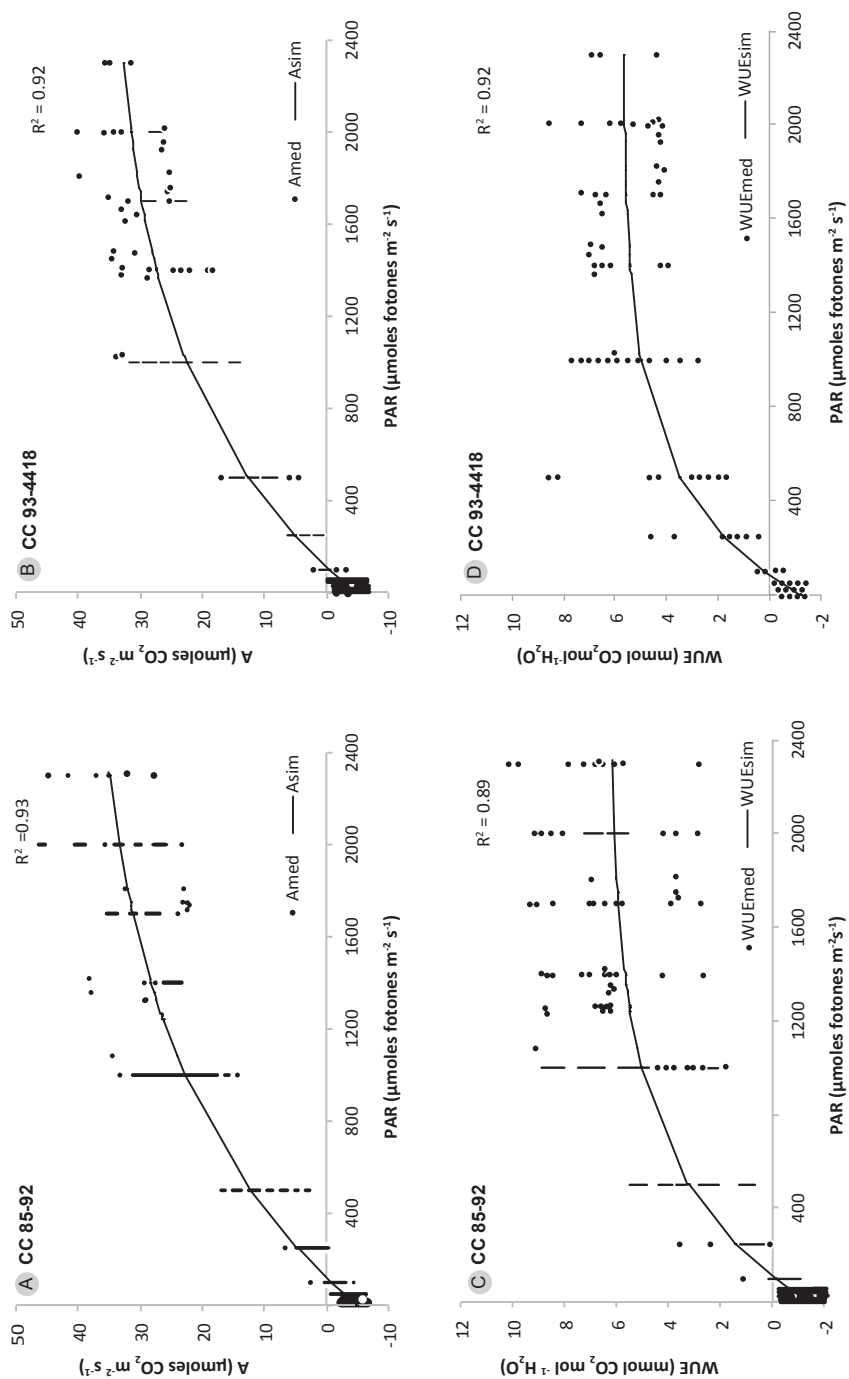


Figura 7. Respuesta de la fotosíntesis A y eficiencia del uso del agua WUE de las variedades CC 85-92 (A y C) y CC 93-4418 (B y D) a la radiación fotosintéticamente activa PAR. Amed y WUEmed corresponden a valores medidos; Asim y WUEsim, a valores simulados a partir del ajuste de los modelos.

El rendimiento cuántico de la fotosíntesis (ϵ) es una medida de la eficiencia con la cual la radiación PAR es usada para fijar carbono, y corresponde a la pendiente durante la fase inicial de la curva de respuesta a la luz (Fernández y Gyenge, 2010). Este parámetro indica cuántos μmoles de CO_2 se fijan por cada μmol de luz PAR. De acuerdo con el **Cuadro 1**, las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 tienen similares tasas de eficiencia en el uso de la radiación: respectivamente, 0.043 y 0.045 μmoles de CO_2 por cada μmol de luz PAR absorbido. En este parámetro no hubo diferencia estadística entre ambas variedades.

En general, combinando la información de las curvas de respuesta de la fotosíntesis a la luz y la dinámica diaria de la radiación, se esperan en promedio tasas de fijación de carbono elevada, superior al 70% de la capacidad máxima, después de las 9:45 a.m. y hasta las 3:00 p.m. Desde el punto de vista de la productividad, es más deseable contar con días de prolongada duración e intensidades moderadas de radiación ($> 1000 \mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que tener días de elevada intensidad de radiación y corta duración.

Relación de la eficiencia en el uso del agua (WUE) y la radiación

Las **Figuras 7C y 7D** muestran la respuesta de la eficiencia en el uso del agua (WUE) a la radiación PAR: WUE no fue igual entre las dos variedades, ni fue estable ante diferentes cantidades de luz incidentes sobre la hoja.

La máxima WUE estimada registró valores de 5.7 y 6.2 $\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, respectivamente (**Cuadro 2**). La variedad con mayor eficiencia de transpiración fue CC 85-92. Las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 alcanzaron la máxima WUE con valores de radiación PAR de 458 y 534 $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Esto significa que la eficiencia del uso del agua con respecto a la tasa

Cuadro 2. Nivel de radiación PAR donde se obtiene la máxima eficiencia en el uso del agua (WUE) y máximo valor de WUE de dos variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Variedad	PAR requerida para máxima WUE	Máxima WUE ($\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)		
		Estimado	LI	LS
CC 85-92	534.2	6.2 ab	5.9	6.6
CC 93-4418	457.8	5.7 b	5.4	6.0

LI: Límite inferior; LS: Límite superior

de fijación de carbono sería máxima después de las 8:30 a.m. y se extendería hasta las 4:00 p.m. En la práctica, los resultados muestran que por cada 18 g de H₂O liberados por la transpiración, las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 son capaces de fijar una cantidad máxima de carbono de 273 mg y 251 mg, respectivamente.

En general, se puede concluir que las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 muestran eficiencias fisiológicas similares. Así las cosas, las diferencias en productividad entre variedades estarían asociadas a cambios en variables como el macollamiento, la duración del área foliar y los coeficientes de partición de materia seca hacia los tallos (índice de cosecha).

Acumulación de sacarosa

La acumulación de sacarosa no es un proceso exclusivo de la fase final del ciclo del cultivo; por el contrario, es un fenómeno continuo en el interior del tallo que comienza desde el momento de la diferenciación de los nudos y entrenudos y se extiende hasta la cosecha. La mayor acumulación absoluta expresada en sacarosa (% caña) tiene lugar entre los 6.4-7.6 MDE, con tasas máximas específicas que varían entre 2.0 y 2.4 unidades porcentuales por mes. Las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 exhibieron un patrón de acumulación de sacarosa similar a lo largo del ciclo (**Figura 8A**). Igualmente, en ambos casos, las concentraciones de sacarosa fueron similares al momento de la cosecha, con valores alrededor del 18%. Por su parte, la mayor ganancia expresada en gramos de sacarosa por tallo (**Figura 8B**) ocurre entre los 9.0-10.4 MDE, periodo en el cual las tasas de ganancia de sacarosa oscilan entre 54-57 g/tallo-mes. La variedad con mayor tasa absoluta de acumulación de sacarosa fue CC 85-92.

Aunque la tasa de acumulación de sacarosa, medida tanto en gramos por tallo como en porcentaje, fue superior en la variedad CC 85-92, al final del ciclo de cultivo no se presentaron diferencias entre variedades en la concentración de sacarosa. Este comportamiento se explica por la menor duración del periodo de alta acumulación. Así, la variedad CC 93-4418 presentó menores niveles absolutos de acumulación pero más sostenidos en el tiempo, particularmente al final del ciclo del cultivo, como se puede ver en la línea de la tasa absoluta de acumulación (TAA) (**Figura 8**).

La acumulación de sacarosa (% caña) a lo largo del tallo es un proceso ascendente (de la base al cogollo) y progresivo a lo largo del tiempo. Sin

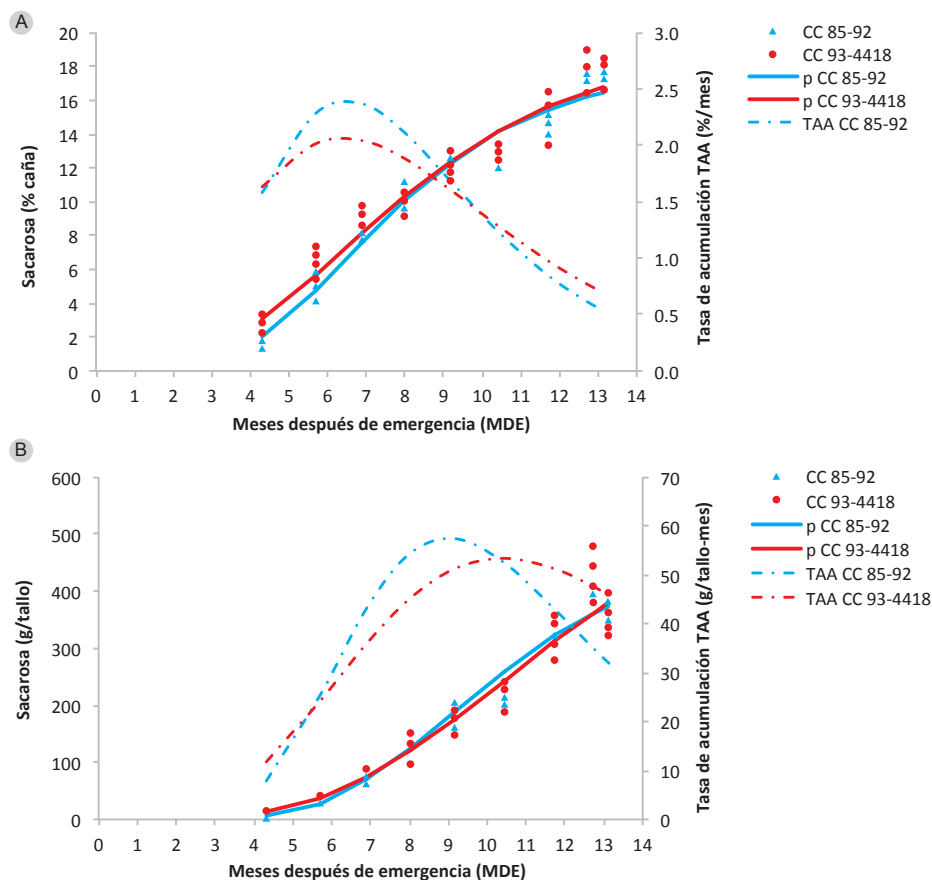


Figura 8. Acumulación de sacarosa expresada en porcentaje de caña (a) y gramos por tallo (b) en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418. Las figuras geométricas corresponden a los valores medidos, las líneas sólidas a los valores simulados a partir de un modelo matemático y las líneas punteadas corresponden a las tasas absolutas de acumulación.

embargo, la forma como se acumula difiere entre variedades debido a la tasa de aparición de entrenudos y a la producción misma de sacarosa de cada material genético.

Los primeros entrenudos del tallo aparecen alrededor de los 4.0 MDE, y el entrenudo basal (posición 1) muestra una concentración inicial de sacarosa entre 2% y 4%. Una vez aparece este entrenudo la acumulación de sacarosa es continua y progresiva hasta el momento de la cosecha, tiempo en el cual, y en todos los casos, se alcanzaron niveles de sacarosa cercanos al 18% (**Figura 9**). La variedad con mayores niveles iniciales de sacarosa en los entrenudos basales fue CC 93-4418. Este comportamiento probablemente

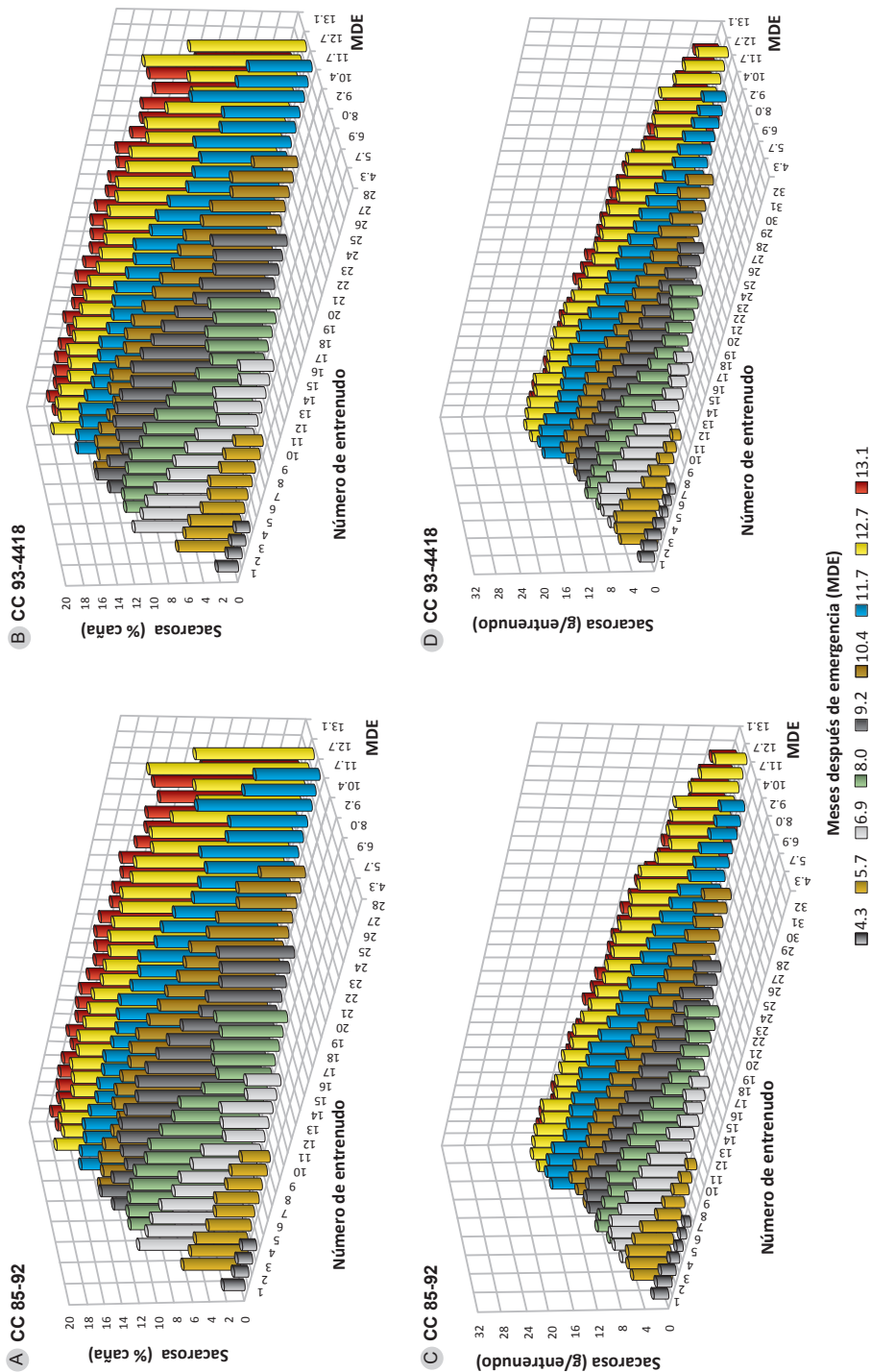


Figura 9. Dinámica de acumulación de sacarosa en función del tiempo y la posición del entrendo, expresada en porcentaje y gramos por entrendo.

está asociado a su mayor tasa de aparición de entrenudos. Así, a una misma edad de cultivo los entrenudos basales de esta variedad serán más viejos con respecto a CC 85-92.

Los entrenudos del tercio superior, que aparecen en edades avanzadas del cultivo (>12.6 MDE), a diferencia de los entrenudos basales, que aparecen en épocas tempranas (<7.0 MDE), muestran niveles de sacarosa en la mayoría de los casos superiores al 4%. Este hecho plantea que al final del ciclo del cultivo la cantidad de sacarosa disponible para acumular es mayor que al inicio del ciclo.

En la caña de azúcar los carbohidratos producidos en el proceso de fotosíntesis pueden ser usados para promover nuevo crecimiento o ser acumulados como reserva en el tallo. El comportamiento que se muestra en las **Figuras 9A y 9B** indica que existe una regulación de la tasa de distribución de los carbohidratos entre el crecimiento y la acumulación en función de la edad del cultivo. Al final del ciclo la tasa de producción de nueva biomasa (TCH) se reduce, fenómeno que favorece la acumulación de sacarosa (% caña) en los entrenudos jóvenes por encima del crecimiento, en el supuesto de que se mantenga la producción constante de carbohidratos por la fotosíntesis. En contraste, la demanda de carbohidratos en las fases inicial y media del ciclo del cultivo prioriza el crecimiento sobre la acumulación, debido a la necesidad de sostener altas tasas de producción de nueva biomasa (TCH).

La concentración de sacarosa en estados tempranos de desarrollo del tallo está en relación directa con la edad del entrenudo. Así, entrenudos de mayor edad presentan mayor concentración que entrenudos de menor edad. A mediados del ciclo del cultivo (6.5 MDE) la concentración promedio de sacarosa de los dos entrenudos basales puede ser, en algunos casos, cercana al doble de la concentración promedio de los dos entrenudos distales; sin embargo, a medida que el ciclo del cultivo avanza, esta diferencia se reduce hasta llegar a 15-20% al momento de la cosecha.

El anterior comportamiento dice que la maduración de la caña de azúcar es un proceso que implica una reducción en el diferencial de concentración de sacarosa entre los entrenudos maduros, ubicados en posiciones basales, y los entrenudos jóvenes, ubicados en posiciones distales del tallo. Esta reducción de la diferencia sucede por la disminución en la tasa de aparición de nuevos entrenudos y por un cambio en la tasa de distribución de los carbohidratos, que favorece la acumulación por encima del gasto para crear nueva biomasa.

Tal escenario plantea una reducción del gasto de sacarosa por respiración de crecimiento, lo que se traduce en mayores excedentes de sacarosa para acumular principalmente en los entrenudos de las posiciones distales.

Por ello, escenarios de corte con bajas edades tendrían consecuencias adversas tanto en el tonelaje como en el rendimiento de las dos variedades evaluadas. La cosecha en edades inferiores a 12.0 MDE presentaría resultados negativos, debido a que tanto las concentraciones de sacarosa como el número de entrenudos son consistentemente inferiores en comparación con los valores obtenidos a los 13.1 MDE (**Figura 9**).

En el **Cuadro 3** se estima la disminución potencial de sacarosa (% caña) en función de la edad, tomando como referencia la concentración de sacarosa a los 13.1 MDE. Así, la cosecha a 11.7 MDE puede traducirse en pérdidas de sacarosa del 18.0% para CC 93-4418 y de 14% para CC 85-92, mientras que al cosechar a 12.7 MDE las pérdidas se reducen a niveles entre 3.9% y 5.3%.

Cuadro 3. Disminución potencial (%) en la concentración de sacarosa (%) en función de la edad de corte.

Edad de cosecha MDE	Variedad	
	CC 85-92	CC 93-4418
11.7	14.0%	18.0%
12.7	3.9%	5.3%

Como escenario de referencia se utilizó una edad de corte de 13.1 meses después de emergencia MDE.

En las variedades evaluadas se observó una relación positiva entre la edad de corte y la concentración de sacarosa en los entrenudos, independientemente de su posición en el tallo. Así, las mayores tasas de acumulación de sacarosa en todos los casos se obtendrían con ciclos de cultivo mayores o iguales que 13.1 MDE.

Las **Figuras 9C y 9D** muestran la dinámica de acumulación de sacarosa expresada en gramos por entrenudo. El comportamiento fue, en general, similar al que ilustran las **Figuras 9A y 9B**. Sin embargo, hubo diferencias, asociadas principalmente a la cantidad de sacarosa acumulada por entrenudo. Debido a que la acumulación de sacarosa (% caña) fue similar en ambas variedades, se concluye que las diferencias en cantidad de azúcar por entrenudo tienen que ver con el peso del entrenudo mismo, lo cual es una característica propia de cada material genético y de su manejo.

La variedad con menor cantidad de sacarosa por entrenudo fue CC 93-4418, que al momento de la cosecha mostró niveles de variación de sacarosa entre los entrenudos basales y distales de 16 g y 4 g, respectivamente. La relativa baja acumulación de sacarosa por entrenudo en CC 93-4418 se vio compensada con un mayor número de entrenudos por tallo y un mayor número de tallos en el momento de la cosecha.

Una alta cantidad de sacarosa por entrenudo en cualquier variedad implica una mayor exigencia en el campo en la recolección de tallos o trozos dejados al momento de la cosecha (repiques), debido a que ante una misma longitud de tallo la pérdida de azúcar potencial siempre será mayor.

Nutrición

Acumulación de nutrientes y niveles críticos foliares

La investigación del Programa de Agronomía de Cenicaña encontró que, en términos generales, la variedad CC 93-4418 muestra mayores requerimientos nutricionales que la variedad CC 85-92. Las investigaciones en curvas de absorción de nutrientes llevadas a cabo en zona semiseca (**Figura 10**) ilustran los cambios en el tiempo en la acumulación de los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio.

La dinámica de absorción de nitrógeno es creciente hasta alrededor de los 7 a 8 meses después de la emergencia, cuando la tasa de acumulación de nitrógeno tiende a cero (línea punteada). Al final del ciclo, los niveles de nitrógeno absorbido medidos (puntos) son inferiores a los mostrados en edades menores del cultivo, lo cual es resultado de la mineralización de las hojas secas y los tallos muertos presentes en esta época y no de una pérdida o exclusión de nitrógeno de los tejidos. A partir de los 8.0 meses después de la emergencia la dinámica de absorción de nitrógeno es altamente dependiente de su removilización desde órganos viejos hacia órganos jóvenes, teniendo en cuenta que las tasas de acumulación de nuevo nitrógeno son inferiores a 10 kg/ha-mes.

La acumulación de nitrógeno presenta tasas crecientes elevadas desde los 2 MDE hasta los 7 MDE. Sin embargo, el periodo de mayor acumulación está comprendido entre los 4-5 MDE, cuando la máxima población del cultivo se encuentra completamente establecida. En esta época es probable que la superior cantidad de tallos presentes en la variedad CC 93-4418 induzca una

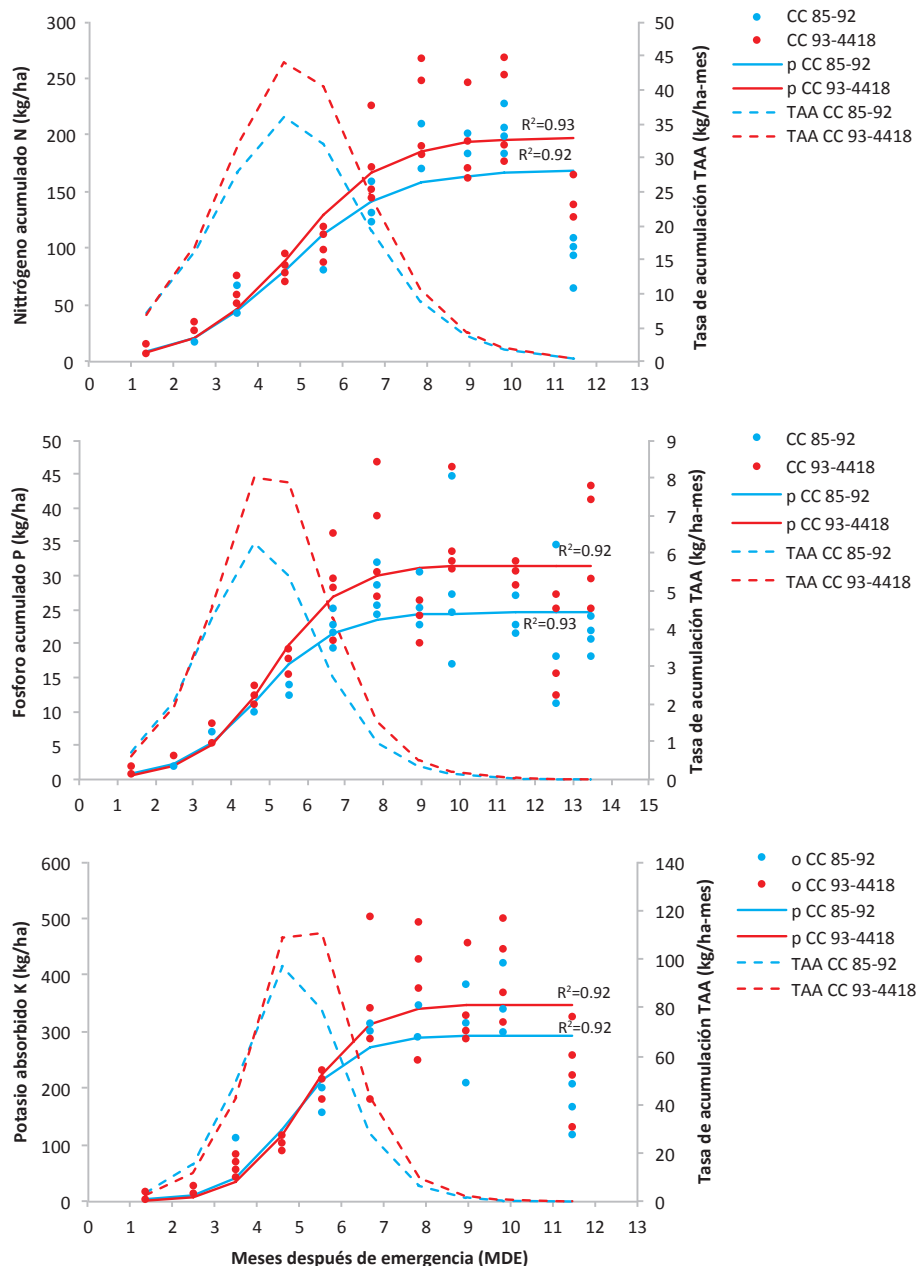


Figura 10. Dinámica de acumulación en el tiempo del nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418. Puntos corresponden a los valores observados y líneas sólidas a valores simulados después del ajuste de un modelo matemático no lineal de tipo logístico. Las líneas punteadas corresponden a la tasa de acumulación del nutriente (TAA).

mayor acumulación de nitrógeno al compararla con CC 85-92. Las elevadas tasas de acumulación de nitrógeno que suceden en esta época son el resultado, seguramente, de las altas tasas de ganancia de materia fresca y materia seca, así como de la elongación constante del tallo. Las máximas tasas absolutas de acumulación de nitrógeno registradas para este periodo crítico específico fueron de 44 kg/ha-mes y 36 kg/ha-mes en CC 93-4418 y CC 85-92, respectivamente. Estos resultados plantean que prácticas de fertilización más allá de este periodo crítico de absorción tienen, probablemente, poca incidencia en el crecimiento y desarrollo de estas variedades. Una vez se alcanzan las máximas tasas absolutas de acumulación, el proceso de absorción comienza a reducir continuamente su intensidad. Los niveles totales de acumulación de nitrógeno para CC 93-4418 y CC 85-92 durante todo el ciclo alcanzaron valores de 198 kg/ha y 168 kg/ha, respectivamente. Los requerimientos por tonelada de caña verde producida fueron similares para las dos variedades, con valores cercanos a 1.15 kg por tonelada (**Cuadro 4**). La información que contiene el **Cuadro 4** no debe usarse como guía para calcular las dosis de fertilizantes que deben suministrarse al cultivo. Solo se presenta aquí a manera de información sobre la demanda fisiológica de nutrientes de la variedad CC 93-4418 comparada con la variedad CC 85-92.

Cuadro 4. Extracción de nutrientes necesaria para producir una tonelada de caña en las variedades CC 93-4418 y CC 85-92.

Nutriente		CC 93-4418	CC 85-92
Elementos mayores (kg)	N	1.1	1.2
	P	0.2	0.2
	K	1.9	2.0
	Ca	0.7	0.7
	S	0.3	0.3
	Mg	0.5	0.7
Elementos menores (g)	Fe	78	94
	Mn	6.5	7.0
	Cu	1.0	0.9
	Zn	3.0	2.7
	B	0.7	0.9

La información que contiene el **Cuadro 4** no debe usarse como guía para calcular las dosis de fertilizantes que deben suministrarse al cultivo. Solo se presenta aquí a manera de información sobre la demanda fisiológica de nutrientes de la variedad CC 93-4418 comparada con la variedad CC 85-92.

Con respecto al fósforo, y al igual que en el caso del nitrógeno, la variedad CC 93-4418 mostró mayor habilidad para acumular este macronutriente. Las diferencias en el patrón de acumulación fueron evidentes después de los 5 MDE. La época de máxima acumulación se presentó entre los 3.5-7.0 MDE, con un periodo crítico ubicado entre los 4.0-5.5 MDE. En este periodo crítico específico las tasas de acumulación de fósforo alcanzaron valores absolutos entre 8-6 kg/ha-mes, y la variedad CC 93-4418 mostró en ese lapso la mayor habilidad de acumulación. Después de los 8 MDE las tasas de acumulación de fósforo disminuyen hasta niveles inferiores a 1.0 kg/ha-mes. La máxima tasa de acumulación de este nutriente fue de 25 kg/ha-ciclo y 32 kg/ha-ciclo en CC 85-92 y CC 93-4418, respectivamente.

El potasio es el macronutriente que más acumula el cultivo de la caña de azúcar (**Figura 10**). En las variedades confrontadas, CC 93-4418 mostró requerimientos de potasio superiores a los de CC 85-92. La dinámica de acumulación de este elemento presenta una época crítica tardía en comparación con el nitrógeno y el fósforo. Así, la acumulación de potasio se acelera alrededor de los 4 MDE y se extiende hasta los 7 MDE, con un periodo crítico entre los 4.5 MDE y los 5.5 MDE, durante el cual se presenta la máxima tasa absoluta de acumulación, y que en CC 85-92 y CC 93-4418 registró valores de 96 kg/ha-mes y 110 kg/ha-mes, respectivamente. Estas altas tasas de acumulación de potasio se ven favorecidas en las condiciones del valle del río Cauca por sus suelos con moderado a alto contenido de potasio. Además, la alta movilidad de este macronutriente en el interior de la planta también favorece su continua disponibilidad, por removilización para los órganos jóvenes. Después de la época de máxima acumulación de potasio, su absorción empieza a disminuir hasta alcanzar niveles menores que 10 kg/ha-mes luego de los 8.0 MDE. Para las variedades en estudio, la acumulación total de potasio durante todo el ciclo registró niveles, en su orden, de 294 kg/ha y 347 kg/ha para CC 85-92 y CC 93-4418, y tasas de requerimiento por tonelada de caña verde producida 5% menores en CC 93-4418 que en CC 85-92.

La dinámica de acumulación de los micronutrientes hierro (Fe), zinc (Zn) y boro (B) se muestra en la **Figura 11**. El hierro es el elemento menor que la caña de azúcar requiere en mayor cantidad y su deficiencia produce síntomas que se observan primero en las hojas jóvenes de la planta, ya que el hierro no se mueve fácilmente entre órganos. Las plantas con carencia de hierro exhiben hojas jóvenes con clorosis intervenal a lo largo de toda la hoja, y si la deficiencia es severa las hojas se tornan de un color cercano al blanco. Un

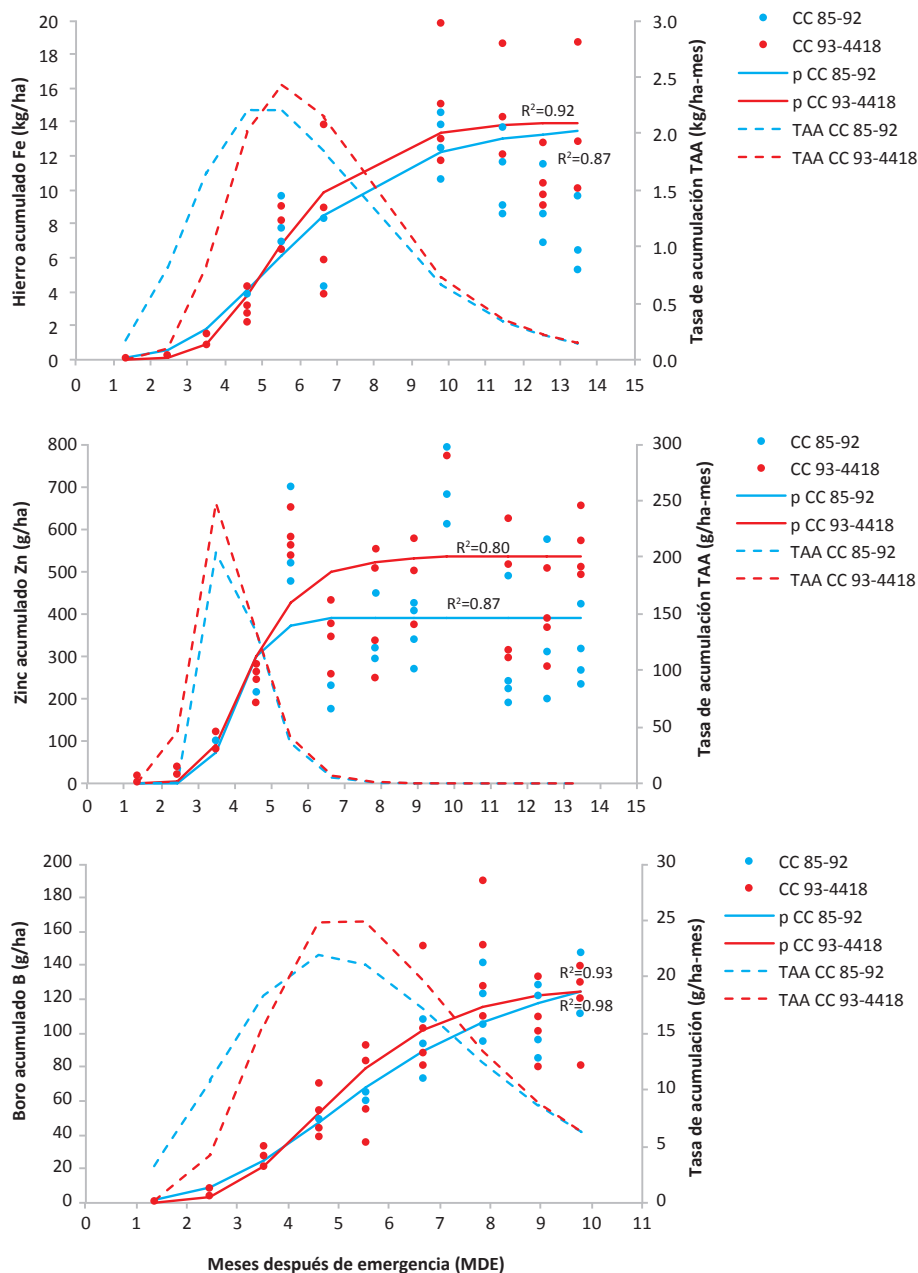


Figura 11. Dinámica de acumulación en el tiempo del hierro (Fe), zinc (Zn) y boro (B) en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418. Puntos corresponden a los valores observados y líneas sólidas a valores simulados después del ajuste de un modelo matemático no lineal de tipo logístico. Las líneas punteadas corresponden a la tasa de acumulación del nutriente TAA.

hecho común es encontrar plantas con marcada deficiencia vecinas a plantas con ningún síntoma de deficiencia. Con respecto a la acumulación de hierro, las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 mostraron niveles absolutos similares: 13 kg/ha-ciclo y 14 kg/ha-ciclo, respectivamente. Sin embargo, hasta antes de los 5 MDE se apreciaron niveles de acumulación de este nutriente superiores en la variedad CC 85-92, condición que podría favorecer la deficiencia temporal de hierro en esta variedad si es sembrada en suelos con bajos contenidos de hierro, bien drenados y de pH cercano a neutro o ligeramente alcalino. En este mismo sentido, la necesidad de hierro por tonelada de caña producida fue 20% mayor en la variedad CC 85-92 que en CC 93-4418 (**Cuadro 4**).

La acumulación de hierro en la caña es acelerada entre los 4 MDE y los 8 MDE, con un periodo crítico entre los 4.5-5.5 MDE, durante el cual las tasas de acumulación de hierro en CC 85-92 y CC 93-4418 alcanzaron, respectivamente, valores de 2.2 kg/ha-mes y 2.4 kg/ha-mes. Una vez se llega a este periodo de máxima acumulación, la tasa absoluta de absorción se reduce paulatinamente hasta llegar a niveles cercanos a cero a los 10 MDE. Las épocas de máxima absorción están asociadas con la rápida formación de nudos y por ende de nuevas hojas en el dosel del cultivo, donde la clorofila y las proteínas que utilizan el hierro aumentan su cantidad absoluta.

El zinc mostró un patrón de acumulación similar en ambas variedades hasta antes de los 5 MDE; luego de este periodo, CC 93-4418 evidenció mayores niveles de acumulación de zinc, favorecidos por su mayor tasa de producción de nueva biomasa. El periodo de acumulación acelerada de zinc en el cultivo se presenta entre los 3 MDE y los 6 MDE, con una etapa de máxima acumulación entre los 3.5 MDE y los 4.5 MDE, cuando sus niveles alcanzan la máxima tasa absoluta, que para CC 85-92 y CC 93-4418 mostró valores de 204 g/ha-mes y 248 g/ha-mes, respectivamente. Después de esta época de máxima acumulación, la tasa absoluta de absorción disminuye hasta niveles tendientes a cero luego de los 7 MDE. Durante todo el periodo de crecimiento y desarrollo, las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 acumularon, en su orden, 392 g/ha y 595 g/ha de zinc. De otra parte, el análisis por tonelada de caña producida evidenció en la variedad CC 93-4418 una necesidad de zinc 11% mayor que la de CC 85-92.

Finalmente, la acumulación de boro tuvo un patrón similar en las dos variedades y una época de absorción acelerada entre los 2.5 MDE y los 8.0 MDE. Aunque las tasas de absorción durante este periodo son relativamente

constantes, en el lapso comprendido entre los 4.0 MDE y los 5.5 MDE se registraron las mayores tasas de acumulación de este nutriente, con valores para CC 85-92 y CC 93-4418, en su orden, de 22 g/ha-mes y 25 g/ha-mes. Como en el caso de los otros nutrientes, una vez alcanzadas las máximas tasas absolutas de absorción de boro, su ritmo disminuye hasta llegar a valores cercanos a los 6 g/ha-mes en el periodo que antecede a la cosecha. En este estudio, la acumulación total de boro durante todo el periodo de crecimiento y desarrollo del cultivo fue de 125 g/ha en ambas variedades, aunque por tonelada de caña producida los requerimientos de boro de CC 85-92 fueron 28% mayores que los de CC 93-4418.

Los anteriores datos sugieren que los periodos de aplicación de nutrientes son similares tanto para la variedad CC 93-4418 como para la variedad CC 85-92. En general, puede plantearse que la aplicación de nutrientes por los sistemas convencionales de fertilización más allá de los 5.5 MDE o 6.0 MDE no se traduce en mayor eficacia agronómica, debido a que, como se observó, los periodos de máxima acumulación de la mayoría de nutrientes evaluados se presentan antes de esta época. En lo relacionado con las dosis de fertilizantes que se deben utilizar, se aconseja seguir las recomendaciones de Cenicaña incluidas en el Sistema Experto de Fertilización (SEF), haciendo los ajustes necesarios en cada sitio de producción (Cenicaña, 2009).

En el manejo de la nutrición del cultivo debe tenerse en cuenta no solamente el resultado del análisis de suelo, sino también el del tejido foliar, para calcular la demanda de nutrimentos del cultivo en un sitio determinado. En el **Cuadro 5** se muestra el contenido foliar de nutrimentos para condiciones de alta productividad de la variedad CC 93-4418. Los dos sitios experimentales en los cuales se realizó el análisis foliar registraron productividades en TCH entre 188 y 220, mientras que el TAH estuvo entre 20 y 30. Los datos provienen de plantillas y hasta dos socas en las zonas agroecológicas 11H1 y 6H1. No se observaron diferencias en los contenidos foliares de nutrimentos entre plantilla y socas. Las plantillas fueron cosechadas entre 11.7 y 12.5 meses y las socas, entre 11.3 y 14.0 meses. El contenido óptimo de nutrimentos en el tejido se determinó en áreas experimentales de Cenicaña, en las cuales se realizó la distribución espacial de productividad (TCH y TAH) para identificar los sitios de mayor productividad en cada área; posteriormente se promedió la concentración en el tejido foliar de cada nutrimento a los 3 y 6 meses del cultivo en las áreas de alta productividad.

Cuadro 5. Contenido foliar de nutrimentos óptimo para de la variedad CC 93-4418 a los 3 y 6 meses después de la siembra o corte.

Nutrimento		3 meses	6 meses
Elementos mayores	N (%)	2.00	1.75
	P (%)	0.25	0.20
	K (%)	1.40	1.40
	Ca (%)	0.37	0.44
	Mg (%)	0.26	0.35
Elementos menores	Fe (mg/kg)	114.00	105.00
	Mn (mg/kg)	40.00	48.00
	Cu (mg/kg)	6.10	5.70
	Zn (mg/kg)	20.40	15.30
	B (mg/kg)	2.10	3.35

Una alta productividad no depende solamente de una correcta nutrición, sino de factores de manejo como el diseño de campo, la nivelación del suelo, el riego y el drenaje, y de la elección de la variedad adecuada para el sitio de cultivo. Las recomendaciones con respecto a estos factores pueden encontrarse en la Guía de Recomendaciones Técnicas (GRT) de Cenicaña (Cenicaña, 2011).

Semilla y semilleros

Las labores de preparación de suelos para la siembra de la variedad CC 93-4418 son semejantes a las requeridas para el cultivo de la caña en general, y en ellas se incluyen, principalmente, el arado y el pase de rastrillo para la correcta construcción de los surcos para la siembra y su buena aireación.

La adecuación de los lotes tiene el objetivo principal de acondicionar el suelo con la pendiente necesaria para el establecimiento de las infraestructuras de riego y drenaje. En zonas planas, la pendiente debe variar entre 3 y 5 por mil para facilitar el riego por gravedad y la evacuación rápida de los excesos de agua por medio de canales o acequias recibidores.

En zonas donde la pendiente natural es mayor, la adecuación se limita a mejorar el relieve y a construir una buena red de canales de riego y drenaje –necesarios para el desarrollo de la variedad CC 93-4418, seleccionada para

zonas semisecas— y a definir la dirección del surco y la pendiente, determinada por las características del terreno.

En el sistema tradicional de siembra, la tasa de multiplicación de la semilla (trozos) es de 1:10-12 en plantillas y primeras socas con edades entre 7 y 9 meses. Es decir, en 2 años, a partir de una hectárea de semillero básico se pueden obtener cerca de 100 a 120 hectáreas, lo suficiente para establecer de 1000 ha a 1200 ha de campos comerciales. En semilleros de 8 meses de edad, la variedad CC 93-4418 puede producir 80-90 t/ha de semilla, equivalentes a 8000-9000 paquetes de 30 trozos cada uno.

Los resultados del servicio de multiplicación y propagación de variedades por el sistema de yemas individuales han mostrado que para la siembra de semilleros básicos de la variedad CC 93-4418, un tallo puede producir en promedio 10 yemas a los 8 meses de edad de la semilla, y su germinación es, en promedio, un 70% comparada con el 85% de CC 85-92 que exhibe, en igual periodo, 12 yemas por tallo. Para las dos variedades se necesitan, de acuerdo con la distancia entre surcos, de 7200 (en surcos con distancias de 1.75 m) a 8300 (en surcos con distancias de 1.5 m) plantas por hectárea.

Para producir semilla de calidad, Cenicaña ha establecido un proceso sistemático de multiplicación, en el cual se aplican estrictas medidas de selección para garantizar la pureza genética y sanitaria de las plantas entregadas. En este proceso es fundamental, por tanto, emplear semilla sana, sin mezclas de otras variedades, libre de plagas y enfermedades y tratadas térmicamente para evitar enfermedades causadas por bacterias. Todo esto permite al final obtener un material de pureza varietal, vigoroso y sano, en la cantidad y calidad propuestas. Para este cometido es indispensable contar con la infraestructura necesaria y establecer un plan de manejo de los semilleros diferente al de los cultivos comerciales. Cenicaña, a través del Servicio de Multiplicación y Propagación de Variedades, produce anualmente plantas a los donantes del Centro: son las nuevas variedades CC que se están sembrando en las diferentes zonas agroecológicas del valle del río Cauca. La industria azucarera colombiana tiene a su disposición este servicio, al cual puede recurrir para producir semilleros de las nuevas variedades.

Desde el 2004 hasta el 2014 la segunda variedad más solicitada en el servicio ha sido CC 93-4418, de la cual se entregaron a ingenios y proveedores 400,503 plantas para su siembra en semilleros específicos para esta variedad (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Cantidad de plantas entregadas entre el 2004 y el 2014 de las variedades CC 93-4418 (total: 400,503) y CC 85-92 (total: 1,128,095).

Variedad	Año										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
CC 93-4418	1700	0	26900	37170	41000	29300	17400	71400	56816	47343	71474
CC 85-92	18400	34500	23550	118000	109000	124609	211740	394830	10248	76720	6498

Germinación

Una buena germinación (**Figura 12**) es indispensable para una buena producción de los cultivos. En las siembras comerciales de caña de azúcar en el valle del río Cauca es común que germinen entre el 55% y el 65% del total de las yemas sembradas. Con frecuencia, las bajas germinaciones de caña de azúcar son atribuidas a los daños que sufren las yemas durante el manejo de la semilla, pero investigaciones realizadas por Cenicaña mostraron que otros factores como el estado de sanidad de la semilla, la preparación del suelo, el tapado de la semilla y la condición de humedad del suelo, entre otros, tienen quizás mayor incidencia en la germinación que el manejo de la semilla. También se pudo establecer que alrededor de un 30% de las yemas que se sembraron no germinaron a pesar de tener condiciones favorables. Esta yemas, calificadas como ‘no viables’, son el factor individual con mayor incidencia en la germinación (Villegas y Ramírez, 2012).



Figura 12. Suerte de caña de azúcar con germinación uniforme.

Las distancias entre surcos y de bandereo más utilizadas tanto por los proveedores como en las tierras de manejo directo de los ingenios se presentan en los **Cuadros 7 y 8** (Isaacs *et al.*, 2014). Se observa que existe una tendencia a utilizar entre surcos la distancia a 1.65 m para disminuir el efecto de la maquinaria en la cosecha, y el bandereo a 10 m para disminuir la resiembra.

Normalmente se siembra un paquete de semilla a lo largo de 10 metros de surco. Como cada paquete consta de 30 trozos de caña y cada trozo tiene 3 o 4 yemas, la siembra es, por tanto, de 7 a 10 yemas por metro (40,000 a 67,000 yemas/ha según el espaciamiento entre surcos).

Cuadro 7. Distancias de siembra entre surcos utilizadas para la siembra de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (2013-2014).

Distancia entre surcos	Proveeduría		Manejo directo	
	Proveedores (%)	Área (%)	Jefes de zona (%)	Área (%)
1.50 m	42.9	25.4	41.0	16.1
1.65 m	56.8	55.3	69.2	49.1
1.75 m	20.7	16.8	46.2	34.7
1.10 m	0.3	0.1	0	0
1.60 m	2.5	1.8	0	0
1.70 m	1.0	0.5	0	0

Cuadro 8. Distancias de bandereo utilizadas para la siembra de la Caña de Azúcar caña de azúcar en el valle del río Cauca (2013-2014).

Distancia de bandereo	Proveeduría		Manejo directo	
	Proveedores (%)	Área (%)	Jefes de zona (%)	Área (%)
6 m	0.3	0.6	0	0
8 m	1.3	1.0	2.6	2.1
9 m	16.7	15.0	12.8	2.0
10 m	74.7	65.0	89.7	70.1
11 m	7.3	7.7	15.4	12.3
12 m	4.3	10.1	30.8	13.5
Utilizan caña larga y repican en campo	0.3	0.4	0	0
No sabe/No responde	0.5	0.2	0	0

Bastaría con que germinara solamente el 30% de las yemas sembradas, porque aun así se tendría entre 12,000 y 20,000 cepas/ha, suficientes para garantizar la población de tallos que aseguran una producción normal de caña de azúcar. El problema radica en que las yemas no germinan espaciadas de manera uniforme, y con porcentajes bajos de germinación lo más probable es que queden espacios amplios sin caña de azúcar a lo largo de los surcos, lo que obligaría a realizar una resiembra.

Para evaluar el efecto que en la germinación de la semilla tiene su manejo durante el corte, el transporte y la siembra, se realizaron dos experimentos: el primero, de septiembre a diciembre de 2010 y el segundo, de enero a abril de 2011. En el primer experimento se utilizaron las variedades CC 85-92 de 8 meses de edad y CC 93-4418, de 7 meses. En el segundo experimento se sembraron las variedades CC 85-92 de 8 meses y CC 93-4418 de 10 meses. Los dos experimentos se hicieron en una zona agroecológica 23H1, suelo Refugio (*Entic Haplusterts*) de familia textural arcillosa sobre arenosa.

En el primer abordaje se encontró que la variedad CC 93-4418 presentó porcentajes de germinación ligeramente inferiores a los de la variedad CC 85-92 en las tres evaluaciones, realizadas a los 15, 30 y 45 días después de la siembra, aunque solo a los 45 días se presentaron diferencias estadísticas significativas entre las dos variedades: en CC 85-92 el porcentaje de germinación fue del 60%, mientras que en CC 93-4418 fue del 52%. Sin embargo, la variedad CC 93-4418 tiene mayor capacidad de macollamiento que la variedad CC 85-92, puesto que a los 3 meses de edad su población de tallos/ha se equipara a la de CC 85-92. En cuanto al crecimiento de los tallos a los 3 meses de edad, ambas variedades tuvieron un comportamiento similar, con un promedio de altura de 52 cm (**Cuadro 9**).

En lo que respecta al manejo de la semilla, los valores más altos de germinación se lograron cuando se hizo cuidadosamente: un porcentaje de germinación de 59% a los 45 días después de la siembra (DDS), pero sin que las diferencias fueran demasiado grandes con otros dos tratamientos, lo cual significa que el manejo de los paquetes de semilla no es el factor de mayor peso entre aquellos que afectan la germinación de la caña de azúcar en las siembras comerciales. No obstante, teniendo en cuenta que la variedad CC 93-4418 tiene unas yemas más abultadas que la CC 85-92, amerita un manejo más cuidadoso. Así lo indican los resultados obtenidos, en los cuales los porcentajes de germinación en esta variedad con el tratamiento cuidadoso fueron siempre superiores a los otros dos tratamientos.

Cuadro 9. Efecto del manejo de la semilla en la germinación de las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, primer experimento.

Variedad	Manejo de la semilla	Germinación (%) días después de la siembra			Población (Tallos*1000/ha) 3 meses	Altura 3 meses (cm)
		15	30	45		
CC 85-92	Cuidadoso	20	35	62	142.4	54
	Comercial	22	34	65	143.5	51
	Daño intencional	17	27	54	133.0	49
CC 93-4418	Cuidadoso	20	33	55	152.2	52
	Comercial	14	28	49	143.0	52
	Daño intencional	18	28	52	147.0	52
Significancia para la interacción Variedad x Manejo		NS	NS	NS	NS	NS
Promedio por variedad						
CC 85-92		20	32	60 a	140.0	51
CC 93-4418		17	30	52 b	147.3	52
Significancia		NS	NS	1.0%	NS	NS
Promedio por manejo de la semilla						
Cuidadoso		20	34 a	59	147.2	53
Comercial		18	31 b	57	143.2	52
Daño intencional		18	28 c	53	140.0	51
Significancia		NS	0.1%	NS	NS	NS
Promedio general		19	31	56	143.5	52
C.V. (%)		28.5	8.8	11.5	11.1	5.8

El segundo experimento ratificó que la variedad CC 93-4418 muestra porcentajes de germinación ligeramente inferiores a los de la CC 85-92: al cabo de los 45 DDS el porcentaje de germinación de la CC 93-4418 fue solo del 41%. Pero, nuevamente, por su alta capacidad de macollamiento, esta variedad logró superar la población de la CC 85-92 (**Cuadro 10**).

Con el manejo comercial de la semilla no se produjo un daño grave en las yemas hasta el punto de que se afectara la germinación. En este experimento prácticamente no hubo diferencias en los porcentajes de germinación tanto con el manejo cuidadoso como con el manejo comercial. Solamente infligiendo a las yemas un daño intencional, que en este caso consistió en golpear con una piedra el 50% de las yemas sembradas, se produjo una disminución en los porcentajes de germinación. En resumen: la población de tallos evaluada a los 140 DDS mostró que no hubo diferencia entre el manejo cuidadoso y el comercial, con un promedio de 140,000 tallos/ha; pero el tratamiento con daño intencional resultó en una población de 128,000 tallos/ha, significativamente inferior a la de los otros dos tratamientos.

Cuadro 10. Efecto del manejo de la semilla en la germinación de las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, segundo experimento

Variedad	Manejo de la semilla	Germinación (%) días después de la siembra			Población (Tallos*1000/ha) días después de la siembra				Altura 3 meses (cm)
		15	30	45	60	75	90	140	
CC 85-92	Cuidadoso	21	58	61	141	162	166	132	63
	Comercial	28	67	71	142	169	175	133	58
	Daño intencional	18	43	48	110	138	150	121	59
CC 93-4418	Cuidadoso	21	43	45	144	171	177	143	61
	Comercial	24	43	45	157	191	193	148	61
	Daño intencional	18	32	33	126	148	153	125	63
Significancia para la interacción Variedad x Manejo		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Promedio por variedad									
CC 85-92		22	56 a	60 a	131	156	164	129 b	60 b
CC 93-4418		21	39 b	41 b	142	170	174	139 a	62 b
Significancia		NS	<0.01%	<0.01%	NS	NS	NS	5. %	<0.01%
Promedio por manejo de la semilla									
Cuidadoso		22	54 a	57 a	139 a	168 a	174 a	138 a	66
Comercial		24	57 a	60 a	140 a	171 a	181 a	143 a	64
Daño intencional		19	41 b	45 b	115 b	142 b	154 b	129 b	62
Significancia		NS	<0.01%	1%	0.10%	1%	1%	1%	NS
Promedio general		22	51	54	131	160	170	137	64
C.V. (%)		32.2	13.1	12.4	15.0	11.8	10.8	8.3	8.5

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones realizadas a los 3 meses de edad, la altura de los tallos fue muy similar en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, con una longitud promedio de 61 cm. Por tanto, los diferentes manejos de la semilla no afectaron de manera importante el crecimiento de las plantas de las dos variedades.

En conclusión, el manejo de los paquetes de semilla no es un factor crítico para la germinación, y a pesar de que la variedad CC 93-4418 presenta porcentajes de germinación un poco inferiores a los de la variedad CC 85-92, la primera tiene un mayor macollamiento, suficiente para garantizar la población de tallos por hectárea requerida para obtener una buena producción de caña.

Respuesta al agua

Con base en sus experimentaciones en manejo de aguas, Cenicaña (1983) ha podido determinar que los requerimientos totales de agua de la caña de azúcar para un período de 13 meses oscilan entre 1050 mm y 1300 mm, lo que significa que para producir un kilo de azúcar se necesita un metro cúbico de agua. La eficiencia del uso del agua determinada experimentalmente en condiciones semisecas, en plantilla, fue de 84 m³ para producir una tonelada de caña en variedades eficientes en el uso de este insumo (Viveros, 2011).

La función de respuesta de la caña de azúcar al agua (función de producción) relaciona la cantidad de agua recibida por el cultivo con la producción obtenida e indica a los cultivadores el efecto del estrés de humedad y la respuesta que pueden obtener a la aplicación del riego, de acuerdo con la variedad y la zona agroecológica.

En el lote de la Estación Experimental de Cenicaña, en San Antonio de los Caballeros, perteneciente a las zonas agroecológicas 23H1 y 11H1, suelos Refugio (Entic Haplustert, familia textural arcillosa sobre arenosa) y Cantarina (Pachic Vertic Haplustoll, familia textural fina), se llevó a cabo un experimento con la variedad CC 93-4418 en plantilla y dos socas, con el fin de determinar su respuesta a la cantidad de agua recibida; se utilizó riego por goteo aplicando semanalmente cantidades de agua definidas según un factor de evaporación (factor de programación de riegos) y se midieron los niveles freáticos con el fin de estimar el aporte capilar a la evapotranspiración.

Durante la plantilla, desde la siembra (14 de agosto de 2008) hasta la cosecha (9 de septiembre de 2009), un periodo de 12.8 meses, se registraron 1333 mm de precipitación y 1483 mm de evaporación y durante todo el ciclo se presentó un nivel freático superficial, ocasionado por las intensas precipitaciones. El balance hídrico arrojó excesos de humedad durante todos los meses y en el terreno se observó un crecimiento diferenciado de la caña en respuesta a la profundidad del nivel freático, lo cual se reflejó al momento de la cosecha en el TCH.

Con base en esta evidencia, se hizo el análisis de productividad en función de la lámina de agua neta recibida, involucrando el aporte capilar a la evapotranspiración (Cenicaña, 1984), para lo cual se utilizó la información de ocho pozos freatimétricos instalados en el interior de las parcelas.

En un segundo corte de la variedad CC 93-4418 (primera soca), comprendido entre el 9 de septiembre de 2009 y el 28 de septiembre de 2010, en condiciones de menor precipitación que el corte anterior (1118 mm) y con una evaporación de 1495 mm, en los 12.6 meses del ciclo de cultivo se presentó un período seco entre los 4 y los 7 meses de edad, en el cual se realizaron 11 de un total de 15 eventos de riego por goteo. Entre los 7 y los 9 meses se presentaron lluvias mayores que 100 mm/mes y el nivel freático se situó durante todo el ciclo de cultivo a profundidades menores que 100 cm, por lo cual el aporte capilar se involucró en las láminas de agua recibidas por el cultivo. Estas láminas, que estuvieron comprendidas entre 917 mm y 1087 mm, se reflejaron en productividades crecientes: entre 116 t/ha y 167 t/ha. Los resultados obtenidos en los dos cortes permitieron conocer la respuesta de la variedad al agua en condiciones de baja y excesiva disponibilidad.

Un tercer corte se desarrolló entre el 28 de septiembre de 2010 y el 8 de febrero de 2012, en condiciones de exceso de humedad, con una precipitación de 2319 mm, una evaporación de 1726 mm y altos niveles freáticos en los 16.4 meses del ciclo del cultivo, por lo cual nuevamente este factor fue el determinante en la productividad. Debido a la mayor duración de este corte, el análisis de productividad se realizó en toneladas de caña por hectárea y mes (TCHM) con el fin de hacerlo comparable con los otros cortes (**Figura 13**).

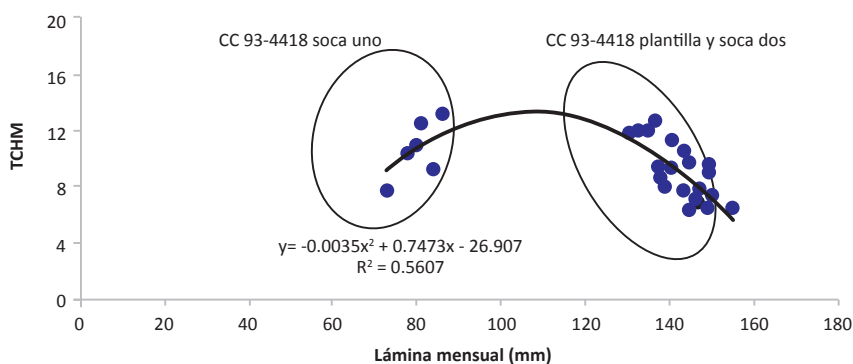


Figura 13. Función de producción, variedad CC 93-4418, tres cortes.

Las funciones de respuesta de la variedad CC 93-4418 a la profundidad del nivel freático en plantilla y segunda soca, muestran los máximos de productividad en TCHM cuando el nivel freático se encuentra alrededor de los 60 cm de profundidad (**Figura 14**); pero, además del nivel freático, tal parece que la cantidad de precipitación recibida afecta el TCHM, dado que en condiciones similares de nivel freático, la plantilla recibió 1333 mm en 12.8 meses, mientras que en la segunda soca recibió 2319 mm en 16.4 meses, lo cual hizo que el TCHM se situara por debajo del logrado en la plantilla.

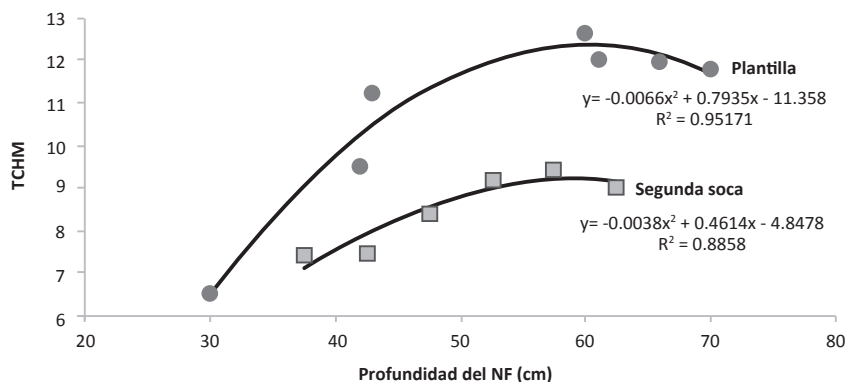


Figura 14. Profundidad del nivel freático y TCHM, variedad CC 93-4418, plantilla y segunda soca.

Los resultados obtenidos muestran que la máxima productividad de la variedad CC 93-4418 se lograría con láminas alrededor de 1400 mm en un ciclo de cultivo de 13 meses, lo cual representa una eficiencia de uso del agua en la región de máxima productividad de 12.7 t/100 mm. Asimismo, los niveles freáticos superficiales, a profundidades menores que 60 cm, tienen un efecto negativo sobre la productividad de CC 93-4418, por lo cual se la considera susceptible al exceso de humedad.

Efecto sobre la producción de un alto nivel freático

Algunos problemas de los cultivos evidentes en el follaje y asociados a elevados niveles freáticos se pueden detectar tempranamente acudiendo a la percepción remota, lo que permite su control en campo y ayuda a que la producción de caña se mantenga.

La variedad CC 93-4418 fue evaluada en campo en un experimento de exceso de agua. Los resultados muestran que el mantenimiento prolongado de un nivel freático a una profundidad entre 24 cm y 37 cm disminuyó la producción de caña en un 43% (90/160) (**Figura 15**).

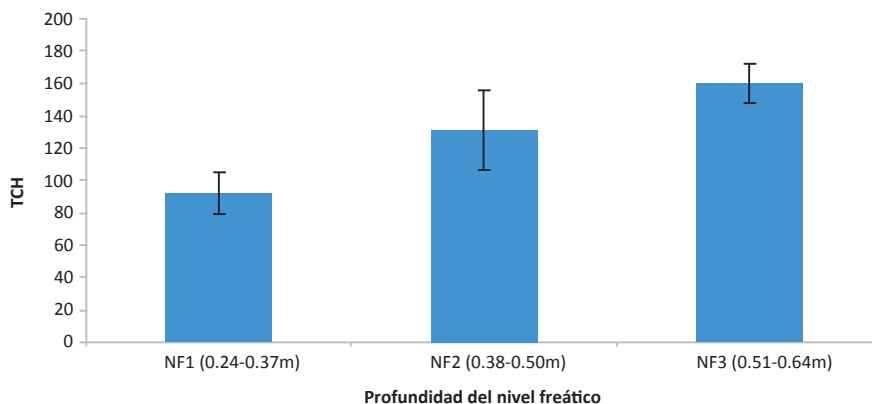


Figura 15. Productividad de CC 93-4418 obtenida bajo diferentes profundidades de nivel freático.

El estudio evidenció que la región de los 485 nm se puede usar para detectar sitios con problemas de exceso de agua a edades tempranas de desarrollo del cultivo (Murillo y Carbonell, 2012)

Riego con caudal reducido en zona plana

El riego con caudal reducido es un método desarrollado para el riego de la caña de azúcar cultivada en el piedemonte de las cordilleras Central y Occidental del valle del río Cauca y ahora establecido con éxito en suelos de textura fina de la zona plana. En áreas con altas tasas de infiltración se ha combinado este sistema con el riego por goteo, aprovechando la similitud hidráulica de los dos sistemas.

El riego con caudal reducido se caracteriza por aplicar, desde el comienzo y hasta el final del riego, caudales por surco muy bajos, del orden de 0,1 L/s a 0,5 L/s, no erosivos (**Figura 16**) y determinados por la tasa básica de infiltración del suelo obtenida por el método de entradas y salidas. El agua se conduce y se aplica a los lotes desde tuberías, sin pérdidas del líquido, con lo cual se consigue una alta eficiencia de riego. Se manejan tiempos de avance grandes, cercanos a las 24 horas, y longitudes de surco hasta de 150 m.



Figura 16. Sistema de riego con caudal reducido, aplicación de agua al surco.

En el ingenio Mayagüez, hacienda Santa Fe, suerte 73, variedad CC 93-4418 en plantilla, suelo Palmira (Pachic Haplustoll, familia textural francosa fina), zona agroecológica 11H1 y longitudes de surco de 120 m con una pendiente de 5 por mil, se evaluó el riego por surcos convencional y el riego con caudal reducido en las modalidades de surco continuo y surco alterno. Para ambos sistemas de riego se utilizó tubería rígida con compuerta. En el riego convencional se aplicó un caudal promedio de 2.4 L/s-surco, mientras que en el caudal reducido se utilizaron en promedio 0.35 L/s- surco.

La plantilla de 13 meses de duración se desarrolló entre el 28 de marzo de 2013 y el 23 de abril de 2014, tiempo en que se presentaron 944 mm de precipitación y 1736 mm de evaporación. Entre los 4 y 10 meses de edad se realizaron seis riegos de levantamiento, distribuidos en su mayoría entre los 4 y 7 meses, durante los cuales fue más crítico el déficit hídrico (**Figura 17**).

Los resultados de producción de sacarosa (% caña) y TAH no mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con riego convencional y riego con caudal reducido, ni tampoco en las modalidades de surco continuo o alterno. Sin embargo, los volúmenes totales de agua aplicados en

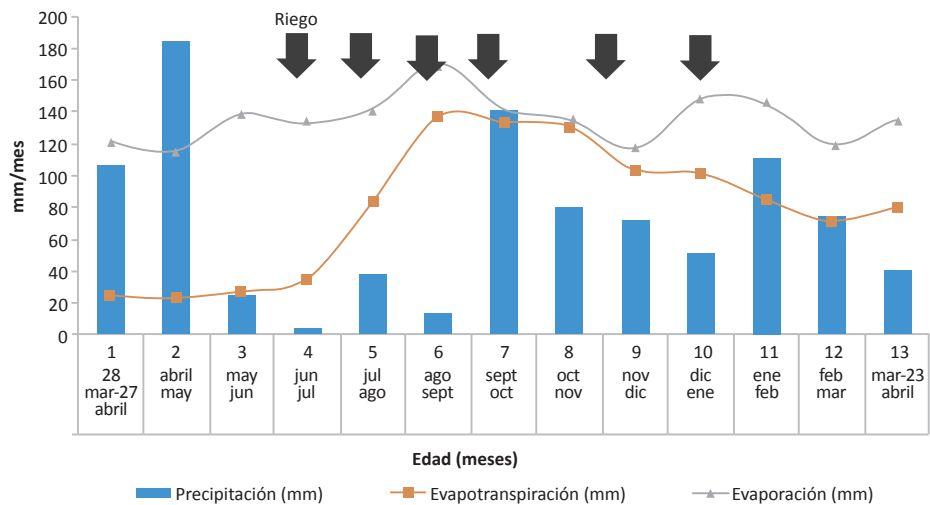


Figura 17. Registros hídricos. Hacienda Santa Fe, suerte 73, variedad CC 93-4418, plantilla.

surco alterno para los dos sistemas, riego convencional (2933 m³/ha) y riego por caudal reducido (1728 m³/ha), estuvieron entre el 36% y el 57% del volumen aplicado en surco continuo por el sistema convencional (4561 m³/ha) y por caudal reducido (4045 m³/ha), sin que disminuyera la producción (**Cuadro 11**).

Cuadro 11. Resultados de cosecha, ingenio Mayagüez, hacienda Santa Fe, variedad CC 93- 4418, plantilla. Edad de cosecha 13 meses.

Tratamiento	Convencional		Caudal reducido	
	Continuo	Alterno	Continuo	Alterno
TCH	166	169	166	161
Sacarosa % caña	15.9	15.54	15.66	15.62
ARE %	13.96	13.44	13.7	13.62
TAH	23.26	22.74	22.76	21.98
No. riegos	6	6	6	6
Volumen aplicado por riego (m³/ha)	760	489	674	288
Volumen total aplicado (m³/ha)	4561	2933	4045	1728

Control de malezas

A pesar de que Cenicaña no adelanta investigaciones sobre herbicidas, se considera pertinente mencionar aspectos relevantes que pueden contribuir a un manejo adecuado del control de las malezas en esta variedad, para lo cual se sustenta en la información de ingenios y cultivadores

Las plantillas y socas de la variedad CC 93-4418, a diferencia de la variedad CC 85-92, se caracterizan por su cierre más tardío, por lo cual a veces se requiere efectuar un rodeo o ‘mancheo’ adicional. En general se utilizan las mismas fórmulas que para el control de malezas de CC 85-92.

Cuando la aplicación es oportuna y en condiciones adecuadas, no se observan en la variedad CC 93-4418 efectos tóxicos de los herbicidas graminicidas, como quemazón en las hojas, los que sí se producen cuando las aplicaciones se hacen tardíamente y cuando se tienen que usar altas dosis. De igual forma, cuando se debe utilizar Metanoarsonato Monosódico (MSMA) para el control de la caminadora –por tratarse de un herbicida de contacto–, el cultivo de la caña de azúcar muestra síntomas de quemazón en sus hojas. También se ha visto que en suelos arenosos y/o pedregosos el cultivo se afecta cuando se usan las mismas dosis del herbicida MSMA que se utilizan en suelos pesados o medianos.

Sin embargo, la variedad CC 93-4418 se recupera rápidamente de cualquier efecto nocivo de los herbicidas, por lo que no se ha observado que estos incidan negativamente en la productividad de la caña de azúcar.

Resistencia a enfermedades

La variedad CC 93-4418 es resistente a las principales enfermedades del cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca: el carbón (*Sporisorium scitamineum*), la roya café (*Puccinia melanocephala*), la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) y el mosaico (*Potyviridae*, SCMV). La incidencia de la escaldadura de la hoja (LSD) (*Xanthomonas albilineans*), del raquitismo de la soca (RSD) (*Leifsonia xyli* subsp. *Xyli*) y del virus de la hoja amarilla (*Luteoviridae*, SCYLV) ha permanecido baja en el sector en los últimos 12 años.

En 2007 se encontró roya café en la variedad CC 85-92, lo que hizo que anualmente Cenicaña, a través del Servicio de Inspección Fitopatológica en Campo y Laboratorio, realizara un seguimiento de la enfermedad tanto en

esta como en las nuevas variedades CC. Evaluaciones actuales muestran que la variedad CC 85-92 es susceptible a la roya café (**Cuadro 12**). Por el contrario, la variedad CC 93-4418 ha mostrado resistencia a la roya café en las evaluaciones realizadas durante todos estos años. En el 2010 se detectó la roya naranja en el valle del río Cauca, pero en las evaluaciones realizadas a la variedad CC 93-4418 se comprobó que esta ha permanecido resistente a dicha enfermedad (**Cuadro 12**).

La variedad CC 93-4418 ha mostrado resistencia a RSD, LSD y SCYLV, según registros del Servicio de Diagnóstico de Enfermedades del 2004 al 2014, en los que, en el caso de RSD y LSD, las incidencias detectadas son menos que 0.5% (**Cuadro 13**). Para SCYLV el número de muestras positivas ha sido muy bajo en los últimos 5 años (**Cuadro 13**).

Cuadro 12. Comportamiento de la CC 93-4418 en el seguimiento de roya café (RC) y roya naranja (RN) entre el 2007-2014 con respecto CC 85-92.

Variedad	Año y enfermedad												
	2007	2008	2009	2010		2011		2012		2013		2014	
	RC	RC	RC	RC	RN	RC	RN	RC	RN	RC	RN	RC	RN
CC 85-92	4(2) ^{1/}	5(8)	5(2)	5(12)	0(0)	5(12)	0(0)	5(12)	0(0)	5(20)	0(0)	6(20)	0(0)
CC 93-4418	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)

^{1/} 4(2) Reacción (Incidencia), Reacción: 0-9; Incidencia: 0-100%

Cuadro 13. Incidencia de raquitismo de la soca, escaldadura de la hoja y virus de la hoja amarilla en la variedad CC 93-4418 en muestras evaluadas en el Servicio de Diagnóstico de Enfermedades entre 2003 y 2014.

Año	Raquitismo de la soca (RSD)		Escaldadura de la hoja (LSD)		Virus de la hoja amarilla (SCYLV)	
	No. de muestras	Promedio (%) ^{1/}	No. de muestras	Promedio (%) ^{1/}	No. de muestras	Resultados
2004	3	0.0	3	0.0	3	0.0 ^{1/}
2005	1	0.0	1	0.0	1	0.0 ^{1/}
2006	7	0.0	7	2.9	7	0.0 ^{1/}
2007	18	0.0	18	0.0	2/ ^{2/}	2/ ^{2/}
2008	39	0.0	39	0.0	2/ ^{2/}	2/ ^{2/}
2009	60	0.0	60	0.0	2/ ^{2/}	2/ ^{2/}
2010	117	0.0	117	0.0	94	0/94 ^{3/}

Continúa

Cuadro 13. *Continuación.*

Año	Raquitismo de la soca (RSD)		Escaldadura de la hoja (LSD)		Virus de la hoja amarilla (SCYLV)	
	No. de muestras	Promedio (%) ^{1/}	No. de muestras	Promedio (%) ^{1/}	No. de muestras	Resultados
2011	131	0.1	131	0.3	130	5/130 ^{3/}
2012	384	0.1	384	0.2	372	9/372 ^{3/}
2013	454	0.1	452	0.1	452	6/452 ^{3/}
2014	466	0.0	466	0.2	462	11/462 ^{3/}

^{1/} Porcentaje de incidencia, evaluadas por TBIA

^{2/} No se realizaron evaluaciones

^{3/} Número de muestras positivas del total evaluadas por RT-PCR

Manejo de insectos plaga

El manejo de las plagas de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, especialmente en el caso de los barrenadores del tallo, *Diatraea* spp., considerada la principal plaga de la caña de azúcar en Colombia, se basa fundamentalmente en el control biológico. Sin embargo, el manejo integral de plagas involucra contar con alternativas complementarias para hacerlo más eficiente, y la resistencia varietal puede ser considerada como una estrategia clave en dicho propósito. Cenicaña ha desarrollado protocolos de evaluación, tanto en campo como en invernadero, que permiten caracterizar la respuesta de las variedades de caña de azúcar al daño de los barrenadores del tallo (*Diatraea* spp.), del pulgón amarillo (*Sipha flava*) y del salivazo (*Aeneolamia varia*). Una nueva variedad se caracteriza como resistente o susceptible con respecto a un nivel de daño considerado como crítico por el investigador, o mediante la comparación con otras variedades previamente caracterizadas por su resistencia o susceptibilidad. Además, se debe considerar que una variedad caracterizada como resistente no es necesariamente un material inmune al ataque de la plaga, sino un material reconocido por presentar un nivel de ataque menor que el que se observaría en una variedad considerada como susceptible. En general, se debe considerar que aunque el control biológico y la resistencia genética de las variedades pueden ayudar a regular las poblaciones de las plagas, se requiere monitorear estas constantemente para prevenir posibles brotes.

Barrenadores del tallo, *Diatraea* spp. Los resultados de la prueba regional en campo con la variedad CC 93-4418 mostraron niveles de ataque por *Diatraea* spp. que van desde el 1% al 20% de entrenudos barrenados. El análisis de la información permitió caracterizar la CC 93-4418 como una variedad de respuesta intermedia al ataque de los barrenadores, mientras que, en las mismas pruebas, la variedad CC 85-92 se evidenció como medianamente resistente a dicho ataque. Lo anterior indica que CC 93-4418, sin que pueda calificarse como resistente o como susceptible al ataque, presenta un nivel de susceptibilidad más alto que la testigo comercial CC 85-92. De acuerdo con esto, en campos comerciales sembrados con CC 93-4418 se debe prestar atención a la evaluación del daño y programar las liberaciones de los enemigos naturales de la plaga (Vargas y Gómez, 2005). En general, se recomienda para el control de los barrenadores liberar una dosis de taquínidos (30 individuos por hectárea) y una de *Trichogramma exiguum* (50 pulgadas² por hectárea) cuando los niveles de daño por la plaga estén entre 0.5% y 2.5% de entrenudos barrenados, para niveles entre 2.5% y 4%, dos liberaciones de taquínidos, dos de *T. exiguum* y una de *Cotesia flavipes* (2 gramos por hectárea). Cuando estos niveles sean superiores al 4% de entrenudos barrenados se recomiendan dos liberaciones de taquínidos, dos de *T. exiguum* y dos de *C. flavipes* (Vargas, 2015).

Pulgón amarillo, *Sipha flava*. La evaluación de la resistencia varietal de CC 93-4418 al pulgón amarillo se realizó en condiciones de invernadero en Cenicaña. En estas pruebas la variedad se caracterizó como susceptible al ataque del pulgón amarillo, y la variedad CC 85-92, como resistente. Los ataques por pulgón amarillo ocurren en forma esporádica y están asociados a condiciones ambientales y a la susceptibilidad de las variedades sembradas. Se considera que las condiciones de estrés por déficit hídrico y una edad de la caña entre 1 y 4 meses son factores favorables para un brote de pulgón amarillo. En el caso de un lote sembrado con CC 93-4418 se debe prestar atención a la posibilidad de un brote de esta plaga, y para ello se deben conocer los síntomas característicos de su ataque, uno de ellos la clorosis del follaje. Si estos síntomas aparecen se recomienda evaluar el porcentaje de hojas infestadas (Gómez y Moreno, 1990) y planear las medidas correctivas. En el caso de que las poblaciones de la plaga superen el 30% de hojas infestadas y que este nivel de infestación perdure por más de una semana, se recomienda programar una aplicación de insecticidas de tipo sistémico (p. e., tiametoxan, 250 g/ha).

Salivazo de la caña de azúcar, *Aeneolamia varia*. La evaluación de la resistencia de CC 93-4418 al salivazo se desarrolló en condiciones de invernadero mediante su infestación artificial con ninfas de la plaga. Se ha propuesto que una variedad puede ser caracterizada como resistente al ataque de las ninfas de *A. varia* cuando, en condiciones de invernadero en dos ensayos realizados independientes en el tiempo, se obtiene una calificación de daño foliar menor o igual que 3.0, en una escala de 1 a 5, y al mismo tiempo inferior al testigo susceptible ($p \leq 0.05$) para la prueba de Dunnett (Cuarán *et al.*, 2012). En caso de que la variedad no sea diferente del testigo susceptible, esta se caracteriza como susceptible. En los ensayos realizados con CC 93-4418 los niveles de daño foliar estuvieron entre 4.3 y 3.3, y en ninguno de los casos se diferenció del testigo susceptible CC 85-92, por lo que se considera que esta variedad es susceptible al ataque de las ninfas del salivazo. El control de las poblaciones del salivazo incluye utilizar tanto métodos de muestreo como trampas pegajosas amarillas y el seguimiento de adultos y salivas en las plantas, que permite monitorear las poblaciones de la plaga en el campo. En el caso extremo de una alta población se recomienda tomar medidas correctivas como la aplicación de insecticidas químicos (tiametoxan, 250 g/ha). Esta condición se presume cuando las poblaciones de adultos capturados en trampa pegajosa amarilla superan los 100 adultos/trampa por semana, o cuando se registran más de 0.2 salivas/tallo o bien, 0.2 adultos/tallo (Gómez, 2007).

Maduración

La maduración es uno de los aspectos más importantes para la producción de caña de azúcar. En el proceso de acumulación de sacarosa las características varietales son fundamentales, pues diferentes variedades pueden mostrar distintos tiempos de maduración, incluso cuando se someten a las mismas condiciones de suelo y de clima. En la actualidad hay variedades de caña de azúcar mejoradas genéticamente que tienen altos contenidos de sacarosa y con las cuales se pretende alcanzar una alta productividad. Sin embargo, a pesar de la diversidad de material genético disponible, el sector agroindustrial de la caña de azúcar del valle del río Cauca enfrenta dificultades para mantener contenidos altos de sacarosa a lo largo de todo el año, debido a la influencia de las condiciones ambientales.

La maduración natural de la variedad CC 93-4418 fue evaluada, junto con la de CC 85-92, en la plantilla de siete experimentos de la prueba regional en los cuales no se utilizó madurador. Los resultados obtenidos en cada uno de estos experimentos desde los 10 hasta los 13 meses permitieron trazar la curva de maduración de la variedad CC 93-4418, en la cual se aprecia que esta tiene una maduración natural similar a la variedad comercial CC 85-92 (**Figura 18**).

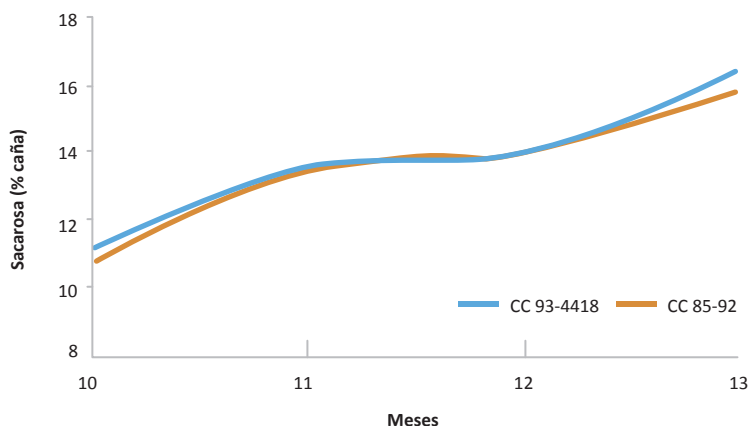


Figura 18. Curva de maduración natural de la variedad CC 93-4418 junto con la variedad comercial CC 85-92.

La producción de azúcar (asimilación) se rige principalmente por la energía solar en forma de luz y calor, mientras que el uso de azúcares (hidrólisis o inversión) depende en gran medida de la humedad y del crecimiento de la planta. El balance entre la producción y el uso de azúcar se refleja en el contenido de sacarosa de la caña de azúcar. En las regiones tropicales la humedad tiene gran influencia en la maduración de la caña de azúcar. Para madurar, el tallo debe disminuir su ritmo de crecimiento; la sequía moderada, una alta radiación y oscilaciones amplias de la temperatura entre el día y la noche, entre otros factores, favorecen la maduración. Sin embargo, durante el periodo de maduración con frecuencia estas condiciones no se producen al mismo tiempo o no alcanzan la magnitud suficiente para producir el efecto esperado. Por ello, en el sistema de producción actual, como parte del manejo del cultivo, se aconseja usar maduradores para aumentar la productividad.

El uso de maduradores en el sistema de producción de caña de azúcar permite una mayor recuperación de sacarosa al momento de la cosecha; por consiguiente, los maduradores promueven la industrialización de una materia prima de mejor calidad. Sin embargo, la viabilidad del madurador depende de cierto número de factores, incluidas variables climáticas, técnicas y económicas; pero, fundamentalmente, su efectividad se relaciona con las respuestas diferenciales de cada variedad a esta práctica de cultivo.

La variedad CC 93-4418 presenta, por lo general, contenidos de sacarosa (% caña) superiores a los de la variedad CC 85-92 en las mismas condiciones de suelo y clima en zonas semisecas e inclusive en zonas húmedas con buen drenaje, tal como se puede apreciar en la **Figura 19**, en la cual se muestran los resultados del seguimiento de la maduración y la evaluación de la respuesta de las dos variedades al madurador, en un suelo de la consociación Franciscano (Aquic Haplustolls) de la zona agroecológica 11H3 en el sur del valle del río Cauca.

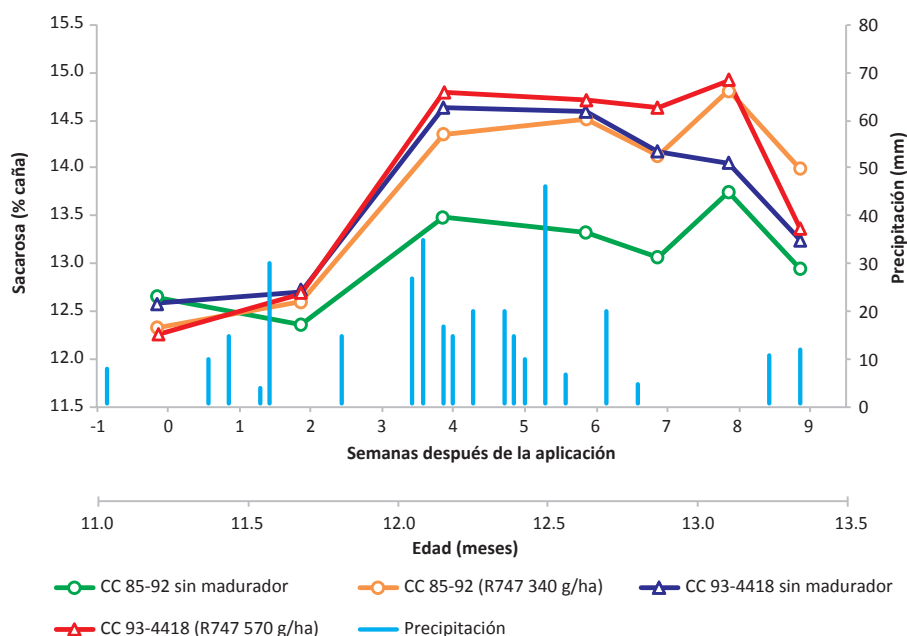


Figura 19. Sacarosa (% caña) de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 (Plantillas) con y sin aplicación de madurador, en un suelo de la Consociación Franciscano (Aquic Haplustolls) de la zona agroecológica 11H3 en el sur del valle del río Cauca.

Las plantas maduraron en condiciones de alta precipitación. En el periodo de evaluación (11.0 a 13.4 meses) la precipitación fue en total de 342 mm. En cuanto a la maduración natural, ambas variedades presentaron contenidos de sacarosa similares en las primeras dos evaluaciones, realizadas a los 11.2 y a los 11.6 meses de edad. Posteriormente, entre los 12 y los 13 meses, las dos variedades alcanzaron los mayores contenidos de sacarosa, pero en este periodo la CC 93-4418 superó a la CC 85-92, en ocasiones hasta por una unidad porcentual de sacarosa, ya que CC 93-4418 registró valores que variaron entre 14.0% y 14.5% y CC 85-92, entre 13.0% y 13.7%. La sacarosa presentó valores relativamente altos pese a que entre los 12.0 y los 12.7 meses hubo precipitación abundante (251 mm). En la última evaluación de sacarosa, realizada a los 13.4 meses, la concentración de sacarosa descendió abruptamente hasta valores cercanos a 13% en ambas variedades, debido posiblemente a dos eventos de precipitación que se presentaron tres días antes y el mismo día del muestreo y que, aunque de baja magnitud, tuvieron alta incidencia en la concentración de sacarosa, pues ocurrieron después de dos semanas sin precipitación.

La variedad CC 93-4418 es más resistente genéticamente al madurador que la CC 85-92, razón por la cual se le aplicó una dosis mayor (570 g/ha de Roundup 747), mientras que a la CC 85-92 solamente se le aplicó una dosis de 340 g/ha. La respuesta de la CC 85-92 fue evidente: a las cuatro semanas después de la aplicación ya se registraban incrementos cercanos a una unidad porcentual de sacarosa con respecto al testigo sin aplicación, y las diferencias se mantuvieron hasta la semana nueve después de la aplicación, que correspondió al último muestreo realizado. En la variedad CC 93-4418 la respuesta al madurador fue menos notoria, y solamente en las semanas siete y ocho después de la aplicación se registraron diferencias de 0.5 y 0.9 unidades porcentuales por encima del testigo sin aplicación, favorecidas principalmente por un descenso en el contenido de sacarosa de este último, más que por un verdadero incremento en el contenido de sacarosa del tratamiento con aplicación.

Se debe destacar que en el campo comercial en el cual se llevó a cabo la evaluación de las dos variedades se registró una producción de caña de 176.5 t/ha, un rendimiento comercial de 10.91% y una producción de azúcar de 19.3 t/ha con la variedad CC 93-4418, mientras que con la variedad CC 85-92 la producción de caña de azúcar fue de 150.4 t/ha, el rendimiento comercial de 10.28% y la producción de azúcar de 15.5 t/ha. Es decir, la variedad CC

93-4418 produjo 3.8 t/ha más de azúcar que la variedad CC 85-92 en las mismas condiciones de suelo y clima, con lo cual la superó tanto en TCH como en rendimiento.

Como resultado de las investigaciones realizadas por Cenicaña con las nuevas variedades, se ha elaborado una guía para dosificar los maduradores más usados en el sector (**Cuadro 14**). La dosificación se basa en tres criterios: 1) La variedad misma, ya que hay diferencias entre variedades en cuanto a la resistencia a los maduradores. 2) La producción estimada de caña de azúcar al momento de la aplicación, porque los maduradores se deben dosificar en función de la biomasa. 3) La disponibilidad de humedad prevista para el cultivo entre el momento de aplicación del madurador y la cosecha. Una buena disponibilidad de humedad estimula el crecimiento de la planta y en esas condiciones se requiere aumentar la dosis del madurador. Cuando la disponibilidad de humedad es baja por déficit o exceso de agua en el suelo, la planta está en condición de estrés y la dosis de madurador debe ser también baja.

Cuadro 14. Dosis de madurador por cada 100 toneladas de caña de azúcar^{1/} para las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 en el valle del río Cauca.

Variedad	Humedad disponible ^{2/} entre la aplicación y la cosecha					
	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
	Glifosato SL ^{3/}		Glifosato SG ^{4/}		Fluazifop ^{5/}	
CC 85-92	0.7	0.9	0.30	0.38	0.4	0.5
CC 93-4418	1.0	1.3	0.42	0.55	0.6	0.7

^{1/} Producción estimada de caña de azúcar al momento de hacer la aplicación.

^{2/} Involucra tipo de suelo, precipitación estimada y aportes del nivel freático.

^{3/} Dosis en L/ha de productos comerciales como Round-up, Round-up Activo y Glifolaq.

En el caso que se use Touchdown, multiplicar los valores de la tabla por 0.7

^{4/} Dosis en kg/ha de productos comerciales como Round-up 747 y Agrogen 747.

^{5/} Dosis en L/ha de productos comerciales como Fusilade.

Estabilidad agronómica de la productividad

El área de Mejoramiento Genético de Cenicaña produce variedades de acuerdo con las necesidades del sector azucarero y alcoholero. Estas variedades son evaluadas cada año a través de pruebas regionales, en ensayos encaminados a la comparación de múltiples genotipos en diversos ambientes, a través de años y/o en distintas localidades (Yan y Tinker, 2006).

Las pruebas regionales, que comprenden evaluaciones en múltiples ambientes (MET), permiten examinar las variedades obtenidas a través de los diferentes estados de selección e identificar cultivares y sitios superiores. Sin embargo, las interacciones entre variedad y ambiente son inevitables (Annicchiarico, 2009). Las metodologías usadas para estimar la interacción pueden ser clasificadas en dos grupos: las paramétricas, univariadas y multivariadas, y las no paramétricas (Farshadfar, *et al.*, 2013). Para explorar la interacción genotipo por ambiente (GE) se han propuesto varias metodologías multivariadas o paramétricas, incluido el análisis de componentes principales (PCA), efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI), y el de la regresión genotipo por la interacción GE, la cual se identifica como GGE (Yan *et al.*, 2000). Este tipo de análisis sirve para orientar la siembra de los nuevos genotipos, pues muestra a qué ambientes específicos debe ser dirigida su siembra o si, por su plasticidad, pueden ser sembrados en más ambientes por exhibir una adaptación más amplia a diferentes condiciones de suelo, humedad, etcétera.

Entre los años 2002 y 2004 fueron evaluadas en prueba regional variedades de las series de selección 92, 93 y 94. La prueba fue sembrada en cuatro ingenios: Incauca (CA), Manuelita (MN), Pichichí (PC) y Providencia (PR). Se evaluaron 14 variedades durante tres cortes, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, para determinar las variables sacarosa (% caña), toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de sacarosa por hectárea (TSH). Las variedades en prueba regional fueron: CC 92-2305, CC 93-3458, CC 93-3801, CC 93-3803, CC 93-3811, CC 93-3826, CC 93-4183, CC 93-4326, CC 93-4418, CC 94-5072, CC 94-5446, CC 94-5480, CC 94-5782 y CC 94-5827, y se cosecharon a edades entre 12.1 y 15.5 meses después de la siembra (**Cuadro 15**). Para la comparación de medias se utilizaron los estadísticos diferencia mínima significativa (DMS) (Willian y Abdi, 2010) y la prueba de Dunnett (1964), ambos con una probabilidad de significación del 5% (Delgado, 2001). En los dos análisis fue usado el procedimiento mixed del paquete estadístico SAS (SAS, 2014).

La evaluación de la interacción variedad x localidad se hizo con el AMMI, el cual combina el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos principales con un PCA para la interacción de variedad x localidad (Gauch, 1992; Gauch y Zobel, 1996; Gauch, 2007), y el análisis gráfico del *biplot* GGE, que permite explorar el potencial genético de la variedad y su interacción con el ambiente (Yan y Kang, 2003; Yan y Tinker, 2006). En los dos análisis anteriores se usó el procedimiento IML del paquete estadístico SAS (SAS, 2014b).

Cuadro 15. Sitios en donde fue evaluada la prueba regional con variedades de las series 92, 93 y 94.

Ingenio Hacienda- Suerte	ZA	Suelo			Corte No.	Fecha siembra	Fecha cosecha	MDS
		Consociación	Grupo	Familia				
Incauca Orocue 4	11H2	Cambulos (KM)	Udertic Haplustolls	Francosa fina	1	09-09-02	17-12-03	15.5
					2	17-12-03	13-12-04	12.1
Manuelita Cascajal 43B	11H0	Palmirita (PT)	Cumulic Haplustolls	Francosa fina	1	15-08-02	15-09-03	13.2
					2	15-09-03	15-10-04	13.2
Pichichí La Lorena 15	29H1	Santa Elena (SE)	Entic Haplustolls	Arcillosa sobre esquelética arcillosa	1	25-07-02	04-09-03	13.5
					2	04-09-03	06-10-04	13.3
Providencia Providencia 21Z	6H1	Palmiche (PA)	Pachic Haplustolls	Fina	1	03-09-02	11-11-03	14.5

ZA: Zona agroecológica, **MDS:** Meses después de la siembra.

Análisis combinado de varianza a través de localidades (Loc: ingenio x corte)

Los coeficientes de variación fueron inferiores al 11%; las heredabilidades (h^2), superiores al 69%, excepto para la variable toneladas de sacarosa por hectárea (TSH), y la repetibilidad entre cortes e ingenios fue superior al 83% (**Cuadro 16**). Para las mismas variables se han publicado resultados similares (Salazar y Victoria, 2013), lo cual indica un adecuado control del error experimental, que permitió mejor expresión de la componente genética y mayor precisión en la estimación de las medias. Entre localidades (Loc: ingenio x corte) se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas, lo que explica entre 64% y 73% de la variación total observada. Entre variedades se encontraron diferencias altamente significativas para los caracteres sacarosa (% caña) y TCH, que explican solo el 4% y 5% de la variación total. En la interacción Loc x variedad se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para los caracteres, excepto sacarosa (% caña) y explica entre el 7% y el 13% de la variación. Los resultados muestran que las variables relacionadas con la productividad en caña son influenciadas por las condiciones ambientales predominantes en las zonas de producción, por lo tanto la selección y siembra de las variedades se debe hacer con el enfoque de agricultura específica por sitio para lograr mayor productividad.

Cuadro 16. Análisis de varianza, porcentajes de la suma de cuadrados del total y significancia estadística para los caracteres sacarosa % caña, TCH y TSH, según los modelos AMMI y SREG-GGE, evaluado en la prueba regional con variedades de las series 1993-1994 a través de cuatro ingenios y dos cortes.

Fuente de variación	gl	AMMI						SREG-GGE					
		Sacarosa (% Caña)		TCH		TSH		Sacarosa (% Caña)		TCH		TSH	
		%	p	%	p	%	p	%	P	%	p	%	p
Loc	6	73	**	68	**	64	**	73	**	68	**	64	**
Variedad	12	4	**	5	**	3		4	**	5	**	3	*
Loc*Variedad	72	7	+	10	**	13	**	7	+	10	**	13	**
IPCA1	17	39	**	56	**	39	**	44	**	44	**	33	**
IPCA2	15	22		18		27	**	24	**	31	**	23	**
IPCA3	13	17		13		15		13		10		19	**
Residuo	32	23		14		18		18		15		25	
Error	174	14		14		18		14		14		18	
CV (%)		7		10		11		7		10		11	
R ²		86		86		83		86		86		83	
H ²		73		69		19		73		69		19	

TCH= Toneladas de caña por hectárea, TSH= Toneladas de sacarosa por hectárea,

%= Porcentaje del cuadrado medio total, p=probabilidad de significancia,

** = Significancia estadística menor al 1%, * = Significancia estadística menor al 5%,

+ = Significancia estadística menor al 10%, CV (%)= Coeficiente de variación,

H² (%)= Coeficiente de heredabilidad, Loc= Localidad (Ingenio x corte).

Los resultados obtenidos en estos experimentos se debieron en un alto porcentaje a los sitios en donde se sembraron y al manejo agronómico dado a los experimentos, es decir que tanto el TCH como la sacarosa (% caña) se obtuvieron por el ambiente, con buen suministro de agua, una buena nutrición, adecuado control de malezas, etcétera. Lo anterior evidencia que si se quiere que la variedad CC 93-4418 produzca un alto TCH y alta sacarosa (% caña) se deben seleccionar los sitios acordes con las zonas agroecológicas donde ella ha mostrado adaptabilidad y se debe acompañar con un manejo de acuerdo con sus necesidades.

Análisis de medias

En general, todas las variedades superaron al testigo entre 2% y 9% más de sacarosa (% caña) (**Cuadro 17**). La variedad CC 93-4418, produjo 14.4% de sacarosa (% caña), con valores entre 12.2% y 16.2%, y tuvo ganancias relativas significativas en comparación con CC 85-92 en todos los sitios de evaluación, excepto en la hacienda La Lorena en el corte 1 y en Orocué en el corte 2.

La media de CC 85-92 fue 127 TCH (**Cuadro 17**), y fue superada por CC 93-4418 y CC 93-308, que produjeron 6% y 1% más TCH. La variedad CC 93-4418 produjo 134 TCH, con valores entre 96 y 170 TCH, y mostró ganancias relativas significativas: entre 7% y 26% más toneladas de caña por hectárea que CC 85-92.

Cuadro 17. Medias, valores mínimos y máximos, pruebas de significancia de Dunnett y diferencia mínima significativa para tres caracteres relacionados con la productividad de caña de azúcar, evaluado en la prueba regional con variedades de las series 92-94 a través de cuatro ingenios y dos cortes.

Variedad	Sacarosa % caña				TCH				TSH			
	Media	R	G	p	Media	R	G	p	Media	R	G	p
CC 93-3458	14.5	10	3		119	7	-6		16.9	12	-5	
CC 93-3801	14.7	8	4		124	4	-2		17.9	4	1	
CC 93-3803	14.1	13	0		128	2	1		17.6	6	-1	
CC 93-3811	14.9	5	6	*	113	12	-11	**	16.9	13	-5	
CC 93-3826	15.3	4	8	**	119	8	-6		18.1	3	2	
CC 93-4183	14.6	9	3		118	10	-7		17.1	10	-4	
CC 93-4326	15.4	1	9	**	112	13	-11	**	17.0	11	-4	
CC 93-4418	14.4	11	2		134	1	6		19.1	1	7	
CC 94-5446	14.9	6	6	*	118	9	-7		17.6	7	-1	
CC 94-5480	15.3	3	9	**	114	11	-10	**	17.2	9	-3	
CC 94-5782	15.3	2	9	**	122	5	-4		18.4	2	4	
CC 94-5827	14.9	7	6	*	119	6	-6		17.5	8	-1	
CC 85-92	14.1	12	0		127	3	0		17.8	5	0	
Media	14.8				120				17.6			
Min	14.1				112				16.9			
Max	15.4				134				19.1			
DMS(0.05)	0.8				12				2.0			

R= Orden de mérito, G= Ganancia porcentual relativa al testigo comercial CC 85-92, p= probabilidad de significancia según la prueba de separación de medias de Dunnett, *= significancia estadística al 5% (significativa), **= significancia estadística al 1% (altamente significativa), Min= Valor mínimo alcanzado, Max= Valor máximo alcanzado, DMS= Diferencia mínima significativa entre dos medias (p=5%).

En toneladas de sacarosa por hectárea (TSH), la variedad CC 85-92 produjo 17.8 TSH y fue superada por las variedades CC 93-4418, CC 94-5782, CC 93-3826 y CC 93-3801, que produjeron 7%, 4%, 2% y 1% más toneladas de sacarosa, respectivamente (**Cuadro 17**). La variedad CC 93-4418, que produjo 19.1 TSH, con un valores entre 14.3 y 25.2 TSH, mostró ganancias relativas significativas (entre 6% y 27% más toneladas de sacarosa) que CC 85-92.

Análisis de estabilidad fenotípica por AMMI y modelo de regresión por sitios x genotipos (SREG) y biplot GGE

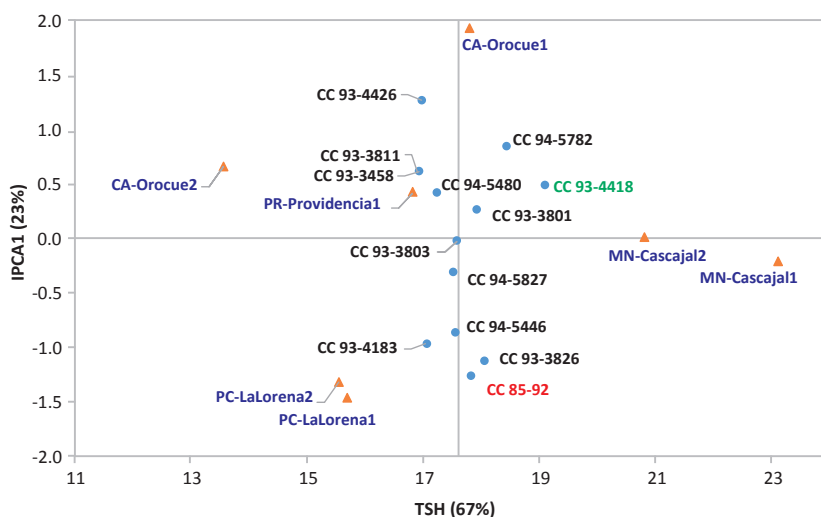
El análisis de estabilidad se hizo para las variables sacarosa (% caña), TCH y TSH (**Cuadro 16**), pero el análisis gráfico solo se realizó para TSH. La interacción localidad x variedad fue significativa para sacarosa (% caña) y altamente significativa para TCH y TSH. La suma de los dos efectos aditivos (variedades y localidades) fue 77%, 74% y 67%, para las variables analizadas, en tanto la interacción explicó, en su orden, el 7%, el 10% y el 13% de la varianza. El primer componente de la interacción fue altamente significativo para sacarosa (% caña) y TCH, y explica el 39% y el 56% de la varianza de la interacción localidad x variedad. En TSH, los dos primeros componentes fueron altamente significativos y explican el 67% de la varianza de la interacción. Con base en los efectos aditivos y los dos primeros componentes de la interacción localidad x variedad, el modelo AMMI explicó el 82% de la variación total observada para el carácter sacarosa (% caña), el 81% para TCH y el 75% para TSH, lo cual indica que es un modelo apropiado para predecir el comportamiento varietal a través de localidades.

En el biplot del modelo SREG-GGE para las variables sacarosa (% caña) y TCH, los dos primeros componentes de la interacción fueron altamente significativos y explicaron el 68% y el 75% de la varianza de GGE. En TSH, los tres primeros componentes de la interacción fueron altamente significativos y explicaron el 75% de la varianza de la interacción. Este modelo permitió entender mejor la interacción localidad x variedad y contribuyó a la mejor ubicación de las variedades en zonas agroecológicas específicas en donde se obtuvo mayor productividad (**Cuadro 16**).

Toneladas de sacarosa por hectárea (TSH)

Los dos componentes aditivos y el primer componente de la interacción explican el 90% de la variación total:

- Bajos TSH en la hacienda La Lorena del ingenio Pichichí, tanto en la plantilla como en la soca, y la hacienda Orocué de Incauca, en la soca. Los dos cortes de Orocué fueron contrastantes y estadísticamente diferentes, siendo la plantilla de mayor TSH. Los dos sitios de Incauca y los de Pichichí hicieron mejor discriminación de las variedades (Figura 20).



- En el ingenio Manuelita no se observaron diferencias entre los cortes con altos TSH, y además no permitieron discriminar las variedades.
- La variedad CC 93-4418 sobresalió como la de mayor potencial de producción y baja interacción con el ambiente, lo cual hace de ella una variedad estable

Figura 20. Biplot del análisis AMMI1 para la variable TSH Vs IPCA1, evaluado en la prueba regional con variedades de las series 1993-1994 a través de cuatro ingenios y dos cortes.

Los dos primeros componentes de la interacción explicaron el 39% y el 27% de la variación:

- Cascajal, del ingenio Manuelita, y Providencia, del ingenio Providencia, mostraron mayor estabilidad, es decir menor variación en TSH.

biplot no fue eficiente en la formación de mega-ambientes ni en la correlación entre variedades y localidades. En las localidades del ingenio Pichichí, las variedades que mejor correlacionaron con las condiciones ambientales fueron CC 93-3826 y el testigo CC 85-92; en el ingenio Manuelita y en Orocué-C1 de Incauca, las variedades CC 93-4418, CC 93-3811 y CC 94-5480; en Providencia, CC 94-5782, CC 93-3458 y CC 93-4326; y en Orocué-C2 de Incauca, CC 93-3803 y CC 93-3801.

68

Análisis de impacto en productividad y utilidad de la variedad CC 93-4418 para el sector azucarero 2011-2014

Se efectuó un análisis comparativo de las diferencias en las variables de productividad para la variedad CC 93-4418 en comparación con el resto de variedades cultivadas, empleando para ello la información comercial correspondiente al período enero de 2011 a septiembre de 2014, de las suertes cosechadas por el sector en el ambiente semiseco, por ser el recomendado por Cenicaña para esta variedad y en donde ha mostrado su mejor adaptación. Con esta información se estimaron los promedios de TCH, RTO y TAH, edad de cosecha, TCHM y TAHM sin esta variedad, con esta variedad y su comportamiento individual, y se presentan gráficamente estos resultados para las tres condiciones. Finalmente, se consideró la probabilidad de obtener diferencias adicionales en la utilidad al introducir esta variedad a escala comercial en este ambiente. Para esto último se consideró el precio promedio ponderado del azúcar del sector y los costos y gastos de producción que se tenían como referencia en previos estudios del Servicio de Análisis Económico y Estadístico de Cenicaña a diciembre de 2014.

Durante 2014, el sector cosechó aproximadamente 15,000 hectáreas en el ambiente semiseco. En la **Figura 23** se presentan los resultados con respecto al TCH, y se observa que son superiores cuando se incluyen en el análisis los resultados de CC 93-4418 en las zonas semisecas que cuando no se incluyen.

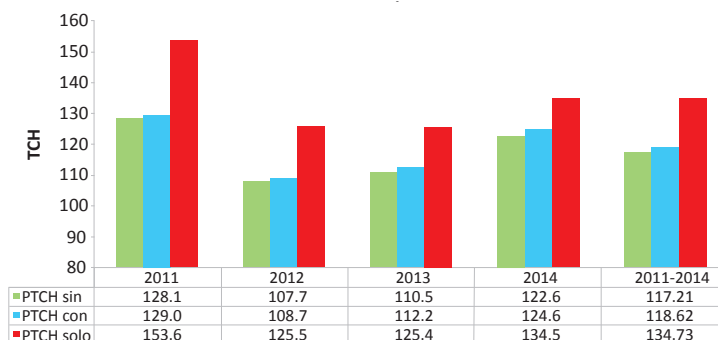


Figura 23. Comportamiento de TCH en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418. Área cosechada en 2011: 2529 ha; 2012: 4270 ha; 2013: 9414 ha; 2014: 14786 ha.

Además, esta variedad por sí sola registra resultados superiores, que en promedio alcanzan las 17.5 TCH de más para ese ambiente. En cuanto al rendimiento (**Figura 24**), esta variedad es similar al resto de variedades y se espera que al ajustar su manejo agronómico, es decir, determinar las dosis del madurador, las épocas de siembra y cosecha, la edad óptima de cosecha y las dosis de potasio, entre otros aspectos, sumado a su siembra con el concepto de agricultura específica por sitio, se obtendrán mejores resultados, como aconteció con la CC 85-92 que por varios años, desde 1996, fue inferior en rendimiento a MZC 74-275 y a partir del 2006 empezó a superarla (**Figura 25**). Con relación a las TAH, esta variedad mostró una superioridad vía TCH de casi 2 TAH (**Figura 26**).

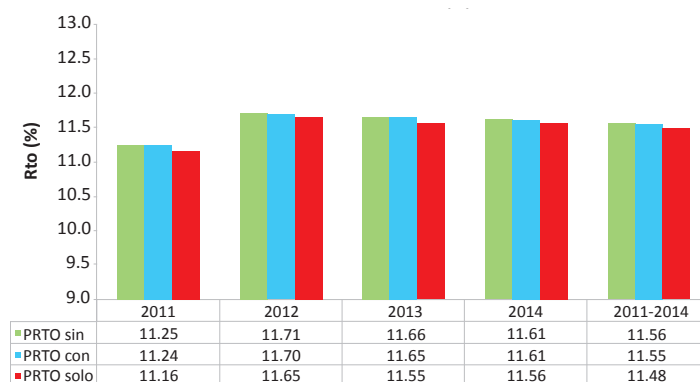


Figura 24. Comportamiento del rendimiento (%) en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418.

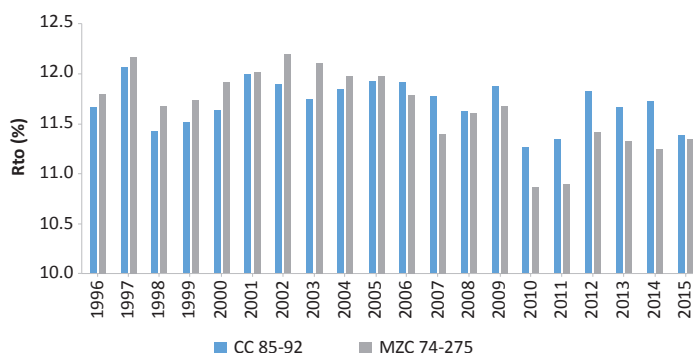


Figura 25. Rendimiento comercial de las variedades CC 85-92 y MZC 74-275 a partir de 1996.

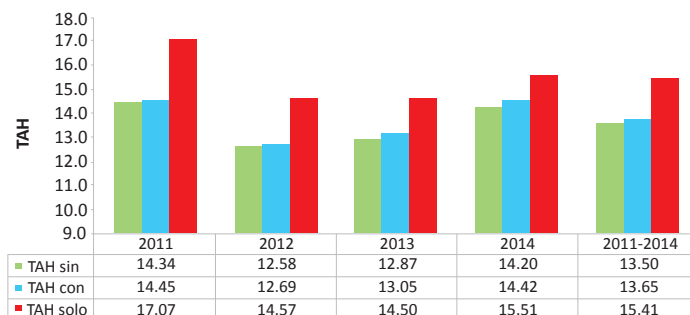


Figura 26. Comportamiento de TAH en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418.

De acuerdo con lo anterior, la probabilidad de obtener en las zonas agroecológicas del ambiente semiseco valores de TAH por encima de 13.8 (promedio 2014 del sector) con la variedad CC 93-4418 es de 67%, y sin ella la probabilidad es de 46%. Lo anterior permite concluir que esta variedad disminuye el riesgo de que el sector obtenga bajas productividades de azúcar (**Figura 27**).

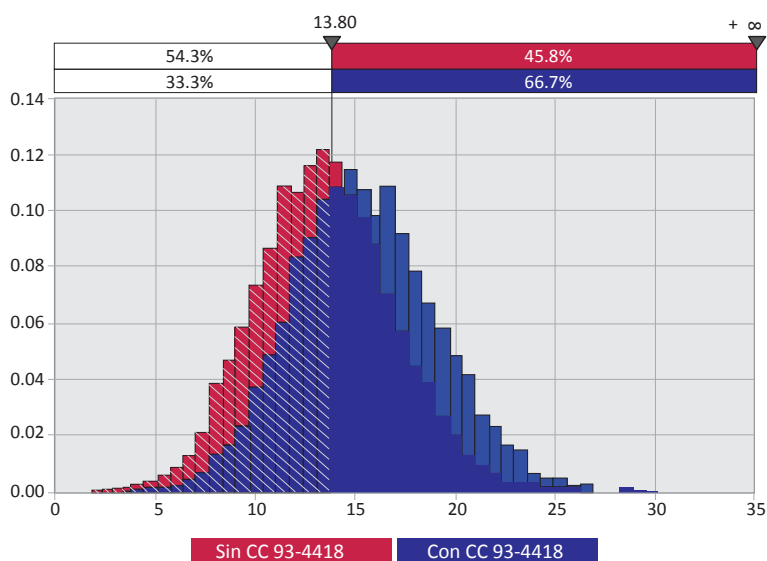


Figura 27. Distribución en zonas semisecas para las toneladas de azúcar por hectárea de la variedad CC 93-4418.

En términos generales, estos indicadores de productividad muestran que durante el período del estudio para el ambiente semiseco, CC 93-4418 aumentó sus resultados productivos, y se supone que estos se incrementarían aún más si se extendiera su cultivo a mayores áreas, dada su probada superioridad tanto en TCH como en TAH. En 2014 se cosechó con esta variedad el 15% del área sembrada con caña de azúcar en zonas agroecológicas del ambiente semiseco. La edad de cosecha en cada uno de los años fue muy similar en los tres casos (**Figura 28**).

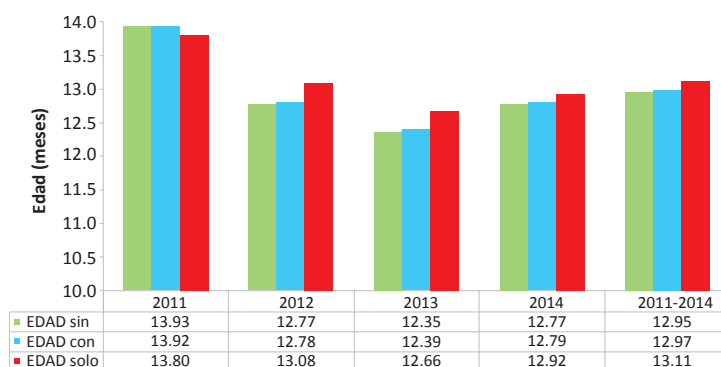


Figura 28. Comportamiento de la edad de cosecha en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418.

Con respecto a las TCHM y las TAHM, CC 93-4418 entrega en promedio 1.2 y 0.13 toneladas adicionales de caña y azúcar por mes, respectivamente (**Figura 29** y **Figura 30**).

Para conocer el comportamiento de esta variedad en términos de la utilidad para el ingenio se calculó, con base en un análisis de simulación, la utilidad por suerte y por variedad, y se expresó en términos de TAH.

Un análisis de simulación desde el punto de vista del ingenio, para el cual se utilizó la información de la industria, corroboró que en las zonas agroecológicas del ambiente semiseco la variedad CC 93-4418 aumenta la

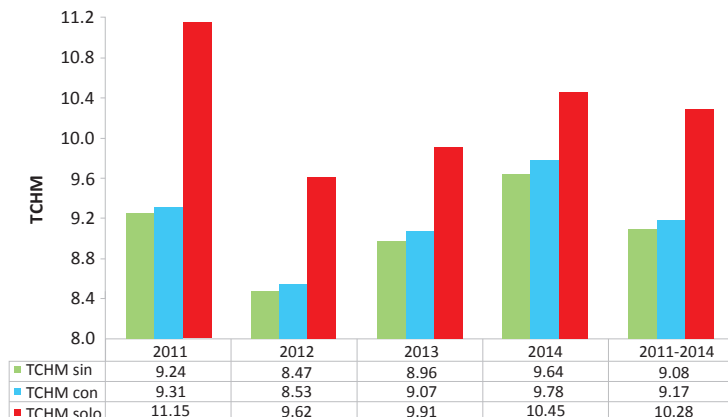


Figura 29. Comportamiento de TCHM en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418.

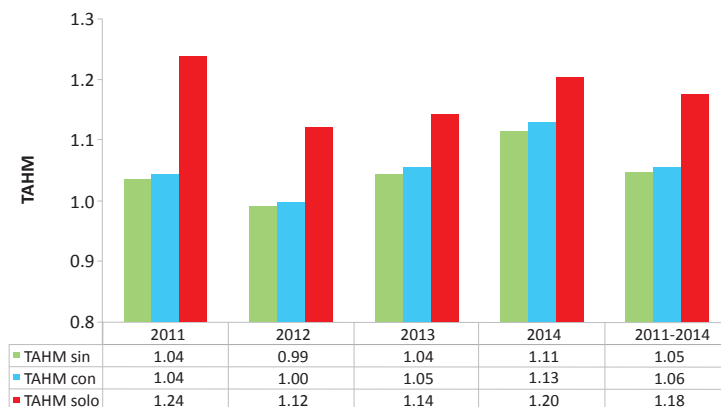


Figura 30. Comportamiento de TAHM en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418.

probabilidad de obtener utilidades adicionales en términos de TAH al comparlas con los resultados que se hubiese obtenido sin ella. Es así como, la CC 93-4418 tiene una probabilidad de 61% de obtener utilidades mayores a las que sin ella brindaría el resto de variedades en este ambiente (**Figura 31**).

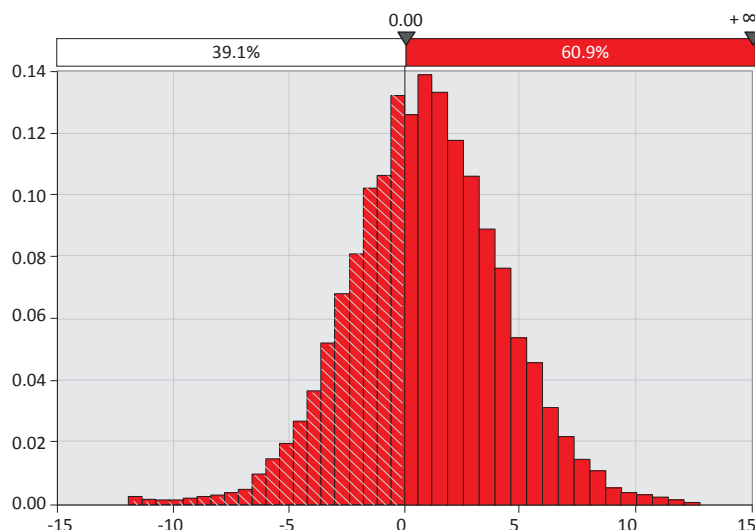


Figura 31. Distribución en zonas semisecas para la utilidad adicional (expresada en TAH) de la variedad CC 93-4418.

Resultados por zona agroecológica: 2006-2014

Durante el proceso de cuantificar el impacto en la productividad y el beneficio económico de esta variedad en las zonas agroecológicas del ambiente semi-seco, se determinó la interacción variedad x zona agroecológica utilizando modelos lineales generales en los que se emplearon como covariables la edad de cosecha y el número de corte y como testigo comercial la variedad CC 85-92. Con ello se equipara la comparación entre las variedades al compartir la misma edad de cosecha e igual número de corte promedio; y dada la significancia de la interacción, se estimaron por zona agroecológica las diferencias en productividad y utilidad entre las dos variedades. Este modelo se elaboró teniendo en cuenta el período 2006-2014 y se calculó la posible utilidad obtenida por la variedad para las diferentes zonas, con valores de referencia al 2014 para precios, costos y gastos de producción tanto para el ingenio como para el cultivador de caña. Para el ingenio se presentan los resultados de utilidad expresados en TAH y para el cultivador, expresados en TCH.

A continuación se relacionan los resultados de las zonas agroecológicas en las cuales las diferencias de la variedad CC 93-4418 en relación con

la CC 85-92 fueron ampliamente positivas y significativas con un nivel de significancia $p \leq 0.25$. Estas serían las zonas en donde el análisis sugiere se debe ubicar la variedad por sus mejores y contundentes resultados.

En la **Figura 32** se observa cómo CC 93-4418 presentó diferencias significativas y positivas con respecto a CC 85-92 en 26 zonas agroecológicas del ambiente semiseco (ambiente que representa el 67% en el sector) de las 50 zonas en donde se encontró cosechada, y si bien el modelo mostró algunas diferencias no las detectó como significativas. Estos valores van desde 5 TCH en la zona 30H1, hasta 43 TCH en la zona 22H2 a favor de CC 93-4418. Se debe mencionar que de estas 26 zonas las que más participación (%) tienen en este ambiente son: 6H1 (23% del área total del sector azucarero colombiano) y 11H1 (17%), zonas ambas en donde CC 93-4418 produjo 10 TCH adicionales con respecto a CC 85-92; 11H0 (13%), con 8 TCH de más; 11H2 (6%), con 14 TCH de más; 6H2 (4%), con 16 TCH adicionales; 15H1 (3%), con 19 TCH de más y 1H1 (3%), con 25 TCH de más.

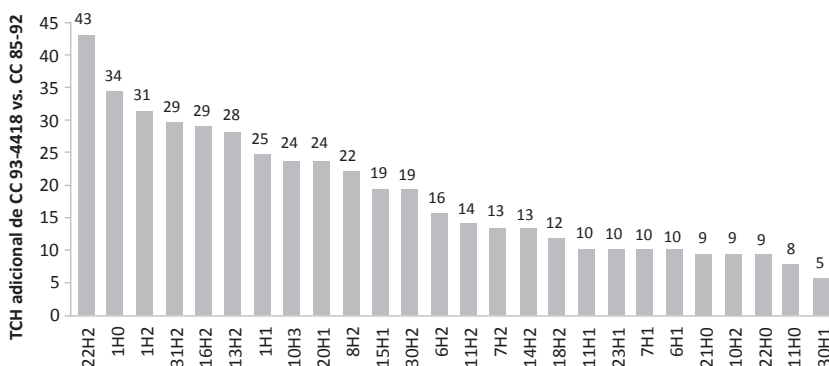


Figura 32. Diferencias en TCH entre la CC 93-4418 y la CC 85-92.

En la **Figura 33** se observa que el rendimiento de CC 93-4418 es superior en zonas agroecológicas de buena participación en ambiente semiseco, como son la 11H2 (6%), donde registró 0.1 unidades porcentuales por encima de CC 85-92; la 15H1 (3%), con 0.2 unidades porcentuales por encima y la 1H1 (3%), con 0.4 unidades porcentuales de más.

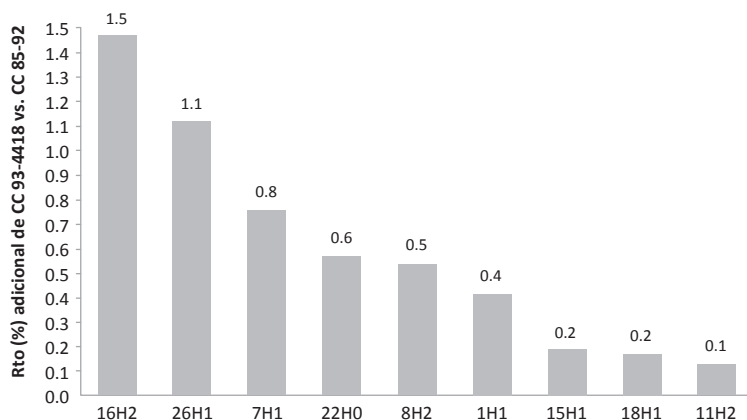


Figura 33. Diferencias en rendimiento (%) de CC 93-4418 y CC 85-92.

En relación con las TAH (**Figura 34**), las zonas agroecológicas con mayor participación en el ambiente semiseco presentan desde 0.7 TAH hasta 3.5 TAH adicionales en 11H0 (3% del área total sembrada por el sector azucarero), 6H1 (23%), 11H1 (17%), 11H2 (6%), 6H2 (4%), 15H1 (3%) y 1H1 (3%). Algunos resultados muestran diferencias más altas (3.8 a 6 TAH).

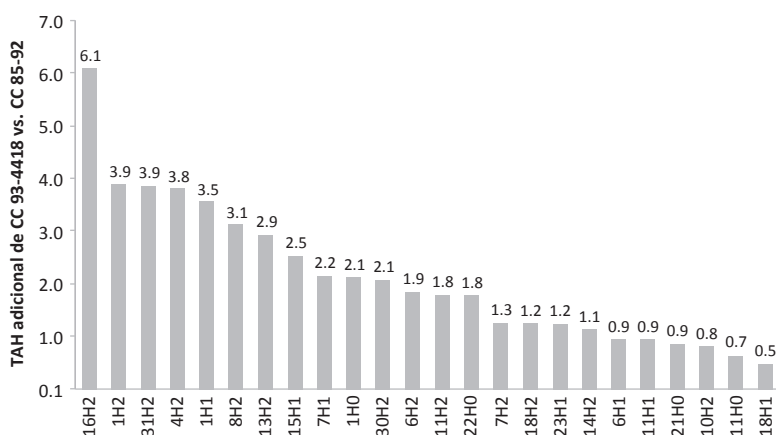


Figura 34. Diferencias en TAH entre la CC 93-4418 y la CC 85-92.

Con respecto a la utilidad expresada en TAH (**Figura 35**), si es el ingenio el que produce la caña de azúcar se consideran todos los tipos de tenencia. En este caso se observa cómo la variedad CC 93-4418 presenta diferencias positivas y significativas en 20 de las 50 zonas en donde se ha cosechado, y los resultados varían entre 0.3 TAH y 3.4 TAH adicionales al testigo CC 85-92. Por el contrario, si es el cultivador quien produce la caña de azúcar, se consideran los resultados solo de la tenencia de proveeduría (**Figura 36**), utilidad expresada también en TCH, que con esta variedad presenta diferencias positivas y significativas en 24 de las 42 zonas en donde se ha cosechado y que varía entre 7 TCH y 46 TCH adicionales con respecto al mismo testigo. Esto corrobora la superioridad de CC 93-4418 en una gran diversidad de sitios específicos.

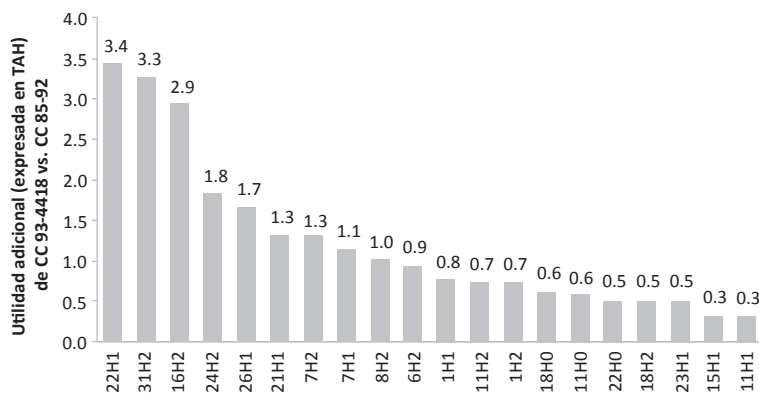


Figura 35. Diferencias en utilidad para el ingenio de la CC 93-4418 vs CC 85-92.

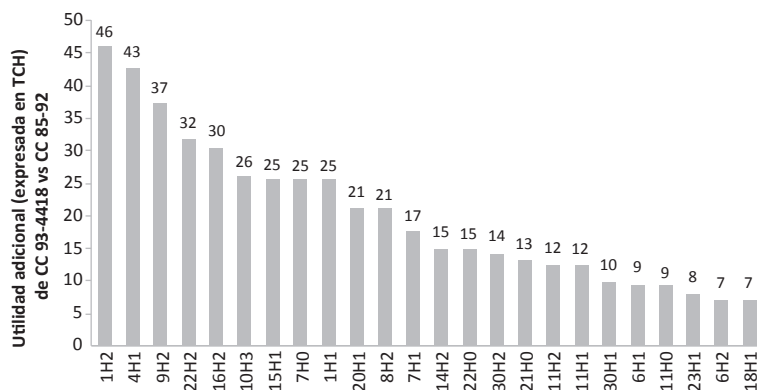


Figura 36. Diferencias en utilidad para el cultivador de caña de la CC 93-4418 vs CC 85-92.

Pérdidas de sacarosa asociadas a tiempos de permanencia y comportamiento industrial

Las variedades de caña de azúcar que se destacan en las pruebas regionales son multiplicadas por los ingenios azucareros para observar su desarrollo y producción en diferentes zonas agroecológicas del valle del río Cauca. Las variedades promisorias se evalúan en el proceso industrial de producción de azúcar y alcohol y en la generación de energía para conocer su potencial productivo o establecer si, por sus características, determinada variedad debe ser objeto de un manejo específico en el proceso industrial.

Ingenio María Luisa

Durante los días 18 y 19 de octubre de 2006 se realizó una evaluación de la variedad CC 93-4418 en campo, cosecha y fábrica, incluida una prueba de molienda de 25.4 horas, en comparación con el testigo CC 85-92. Cabe anotar que el antecedente de un paro de la fábrica del ingenio María Luisa debido a la baja de presión de las calderas y atribuido a una supuesta deficiencia en la combustión de la fibra de la variedad, fue otra de las razones que motivaron la presente evaluación.

La variedad CC 93-4418 fue sembrada en septiembre de 2005 en 20 ha de la hacienda La Guaca, suerte 7, donde predomina la zona agroecológica 6H1. La variedad testigo CC 85-92 (segunda soca) se encontraba sembrada en 9.2 ha de la misma hacienda, suerte 5D, zona agroecológica 6H1. Las evaluaciones se realizaron en 6 ha de la suerte 7 y en 6 ha de la suerte 5D.

En la suerte 7 se aplicó Glifonox 4® como madurador, en dosis de 1.2 Lt/ha, a los 11.2 meses de edad de CC 93-4418, y en la suerte 5D se aplicó Glifolaq®, en dosis de 1.2 Lt/ha, a los 11.5 meses de edad de CC 85-92. Las curvas de maduración de las variedades se presentan en la **Figura 37**, en la cual se observa que CC 93-4418 maduró más temprano que CC 85-92.

La variedad CC 93-4418 se cosechó a la edad de 13.6 meses y la variedad testigo CC 85-92, a la edad de 14.5 meses, ambas de forma manual y con quema previa. En la evaluación se observó que la variedad CC 93-4418 no presentó floración, que el 90% de los tallos se encontraban erectos y los caídos seguían una misma dirección, de manera que al momento del corte

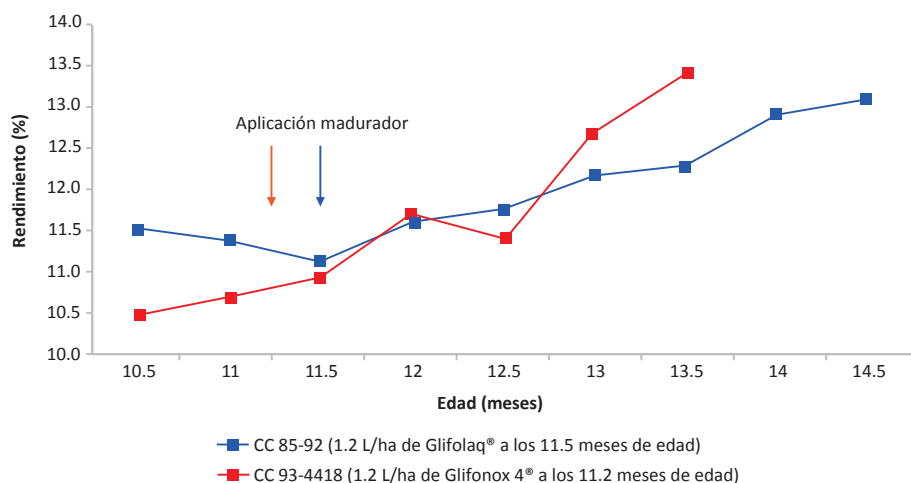


Figura 37. Curvas de maduración de las variedades CC 93-4418 (suerte 7) y CC 85-92 (suerte 5D) en la hacienda La Guaca, ingenio María Luisa.

se alinearon y acomodaron formando una chorra compacta que facilitó las labores de alce y acomodo en vagones. Por su parte, la variedad testigo CC 85-92 presentó el 50% de los tallos volcados.

Pérdidas de sacarosa por tiempo de permanencia

La caña de azúcar empieza a reducir su contenido de sacarosa desde el mismo instante de realizada la cosecha. Cuanto mayor sea el tiempo de permanencia de la caña de azúcar entre la cosecha y su procesamiento fabril, mayores serán los descensos de los porcentajes de azúcar recuperable. En el presente estudio la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) permitió estimar las pérdidas de sacarosa asociadas a los tiempos de permanencia entre corte y molienda en las variedades evaluadas.

El resultado ‘deterioro de caña en campo’ mostró que las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 presentan un deterioro similar (**Figura 38**), tanto en caña verde como en caña quemada. Con este resultado se demuestra que la pérdida de sacarosa (% caña) por hora en la variedad CC 93-4418 se encuentra en el rango de otras variedades cultivadas por la industria azucarera colombiana.

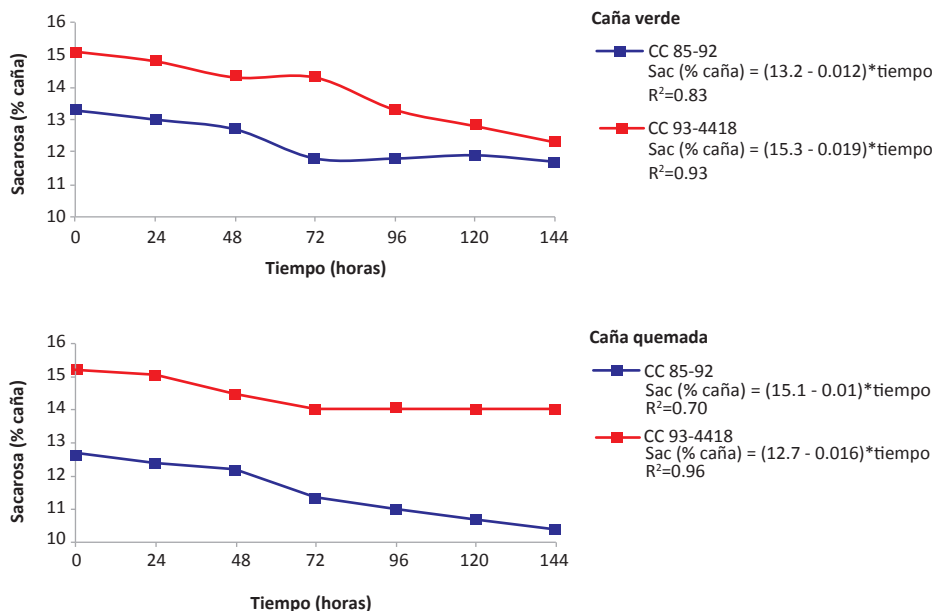


Figura 38. Deterioro de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 luego de 144 horas de su corte en verde o con quema.

Para la evaluación en fábrica se molieron 911 toneladas de la variedad CC 93-4418 durante 25.4 horas, aproximadamente, sin que se observaran cambios significativos en el desempeño de los equipos de preparación y molienda. El ingenio reportó una producción de bagazo menor en un 4% en comparación con los registros usuales del ingenio y se reportó alguna dificultad de operación en la caldera, atribuida en su momento al nivel de operación manual en que se encontraba el sistema aunque sin llegar a afectar la tasa de molienda.

Durante el ensayo la tasa media de molienda fue de 42 toneladas de caña por hora, ligeramente superior a la registrada con la variedad CC 85-92 (40 t/h). La calidad del jugo de primera extracción (porcentajes de brix y sacarosa en jugo) fue mejor con CC 93-4418 que con CC 85-92 (**Cuadro 18**), lo cual se vio reflejado en la producción final de azúcar, que fue superior con CC 93-4418. La fibra en CC 93-4418 fue de 14.8%, inferior a la de la variedad CC 85-92 (16.6%), quizá por ser la primera una plantilla y la segunda, un tercer

Cuadro 18. Calidad de los jugos de primera extracción de las variedades CC 93-4418 (plantilla) y CC 85-92 (segunda soca) evaluadas en el ingenio María Luisa, zona agroecológica 6H1. Fecha de cosecha 18 y 19 de octubre de 2006.

Variedad	Área (ha)	Edad (meses)	Jugo de primera extracción				Rto. real (%)	Materia extraña (%)
			Brix (%)	Sac. (%)	Pureza (%)	Azúcares reductores (%)		
CC 93-4418	6.1	13.6	21.2	19	89.7	0.6	13.4	1.73
CC 85-92	5.9	14.5	21.1	18.8	89.2	0.4	12.6	2.13

corte con un mes más de edad. Los niveles de color del jugo claro fueron de 12,600 unidades ICUMSA (UI) con CC 93-4418 y de 13,000 UI con CC 85-92.

La conclusión de la evaluación realizada en el ingenio María Luisa, zona agroecológica 6H1, es que CC 93-4418 muestra buenas características en la molienda, y su rendimiento fue superior al de CC 85-92. Estas características indican que la variedad CC 93-4418 es una alternativa favorable para renovar los cultivos de caña de azúcar en la zona agroecológica 6H1.

Ingenio Mayagüez

Los resultados que se resumen a continuación corresponden a evaluaciones realizadas a dos suertes de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 cosechadas mecánicamente en verde con los descogolladores apagados. La CC 93-4418 provenía de la hacienda El Convenio, suerte 07B, que se sembró el 23 de marzo del 2010; área, 16.03 ha, zona agroecológica 6H1. El cuarto corte se cosechó el 8 de septiembre de 2014 a la edad de 12.7 meses; al momento del corte la variedad no presentaba floración y presentó un volcamiento del 40%.

La CC 85-92 se sembró el 14 de febrero del 2010 en la hacienda El Convenio, suerte 04A; área, 14.57 ha, zona agroecológica 6H1, y el cuarto corte se cosechó el 8 de septiembre de 2014 a la edad de 12.4 meses; al momento del corte no había floración y presentó un volcamiento del 60%.

Pérdidas de sacarosa por tiempo de permanencia

En la **Figura 39** se describe el comportamiento de la sacarosa en función del tiempo en CC 93-4418 y CC 85-92 hasta alcanzar las siete horas, máximo tiempo de permanencia que se maneja en los ingenios para caña de corte mecánico. En los dos casos se evidenciaron fluctuaciones en la información

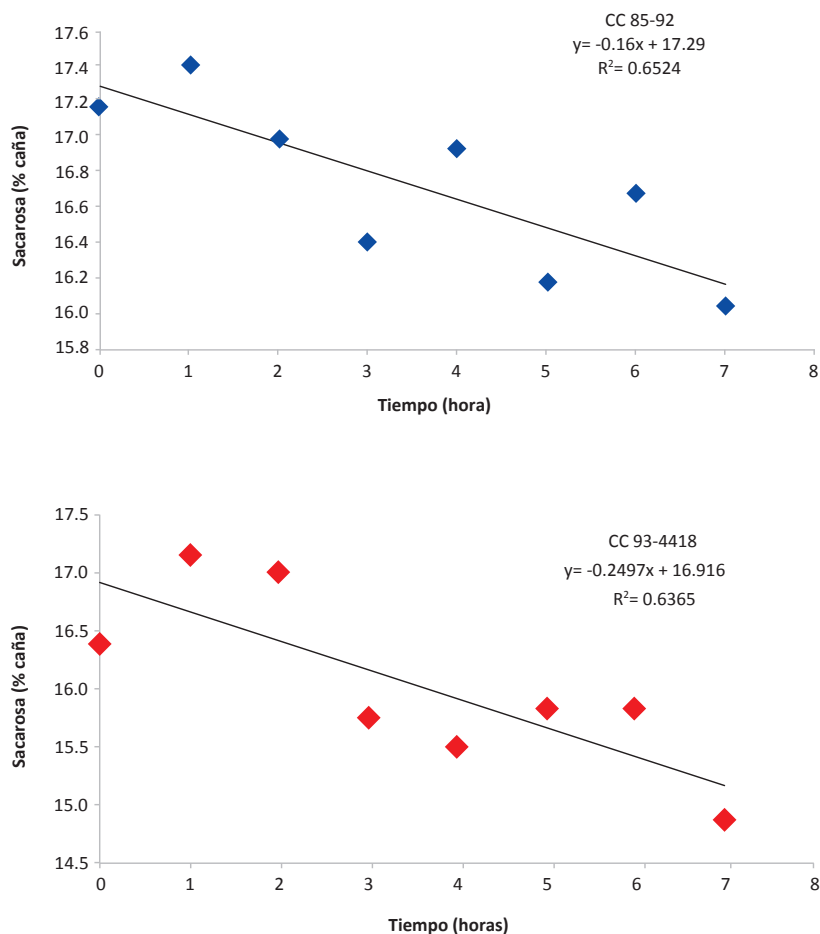


Figura 39. Comportamiento de la sacarosa (% caña) en función del tiempo.

atribuibles a la variabilidad del cultivo. La variedad CC 93-4418 presentó una reducción del 10% con respecto a su valor inicial de sacarosa, mientras que en la variedad CC 85-92 la reducción fue del 7%.

Las pérdidas porcentuales promedio de sacarosa en función del tiempo de permanencia de la caña en el campo se ajustaron estadísticamente para cada variedad para el rango de trabajo de 0 a 7 horas, que es el que más se equipara al tiempo real de permanencia usualmente establecido en los ingenios. La aproximación estadística se definió con base en la siguiente ecuación:

Donde S_t y S_o son las concentraciones de sacarosa en un tiempo t (horas) y un tiempo cero, respectivamente, y k es la constante de primer orden de la hidrólisis de la sacarosa en la caña de una determinada variedad.

Mediante la aproximación matemática de la cinética de primer orden, los datos en los cambios de sacarosa (% HPLC) para las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 observados durante el almacenamiento de la caña cosechada mecánicamente que se extrajo del vagón fueron:

CC 93-4418	7 horas	Coefficiente de correlación = 0.60
CC 85-92	7 horas	Coefficiente de correlación = 0.63

Los datos de sacarosa obtenidos indicaron que la tasa de deterioro fue superior en la variedad CC 93-4418 (mayor valor de k) (**Figura 40**) y mayor la resistencia al deterioro en la variedad testigo CC 85-92 (menor valor de k), lo que se confirma con el porcentaje de pérdida de sacarosa en caña por hora de apilamiento de la caña en el campo cosechada mecánicamente, a partir de datos extraídos de las siete primeras horas de análisis, que para CC 93-4418 fue 1.5% y para CC 85-92 fue 0.93%.

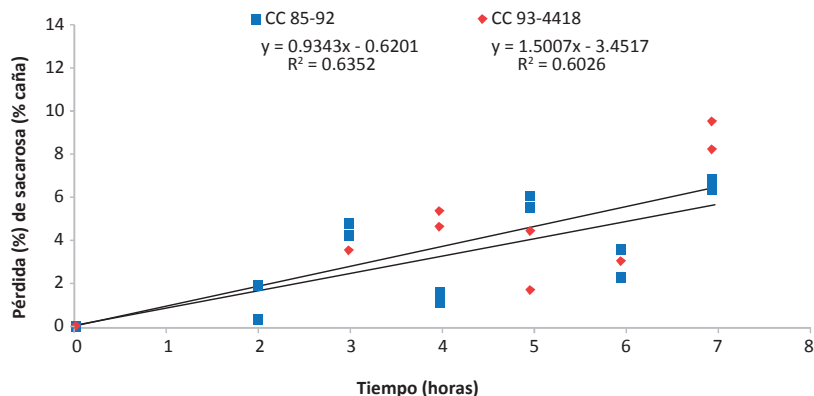


Figura 40. Pérdidas de sacarosa porcentuales en función del tiempo.

En la **Figura 41** se presentan los resultados del seguimiento realizado a muestras de caña cortada mecánicamente desde las 0 horas hasta las 48 horas, con muestreos en las horas 0, 4, 7, 24 y 48, para determinar el comportamiento de los parámetros asociados al deterioro.

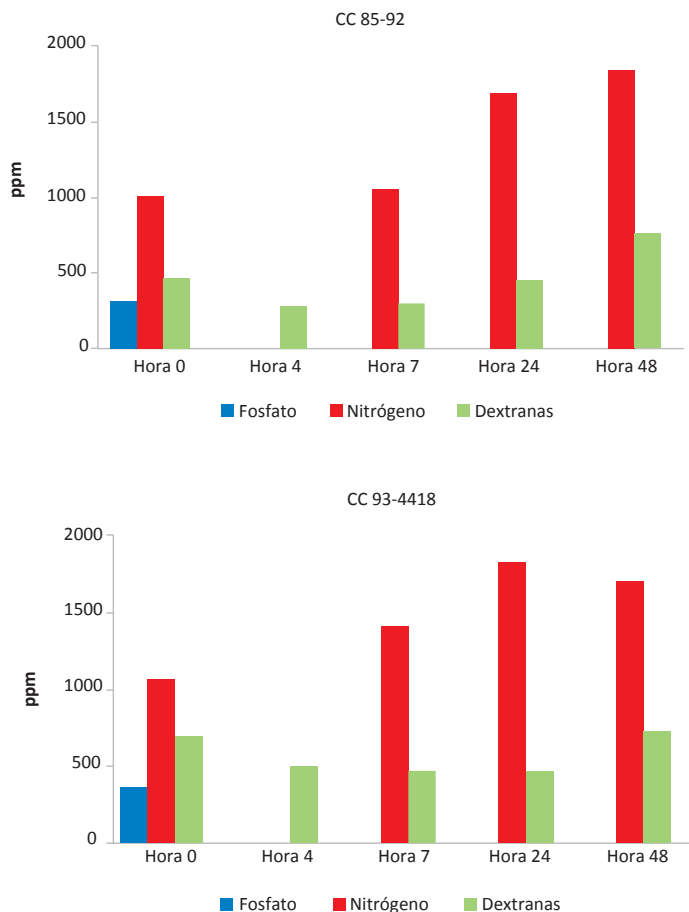


Figura 41. Seguimiento de dextranas y nitrógeno en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418.

Las dextranas, productos de la degradación de la sacarosa por acción microbiana, registraron un mayor valor inicial en la variedad CC 93-4418, sin que se evidenciara mayores cambios en las 48 horas evaluadas, mientras que en la variedad CC 85-92 se detectó un ligero aumento tras este espacio de tiempo.

En cuanto al nitrógeno, se observó un aumento gradual en el tiempo durante el periodo de estudio, y llegó a alcanzar concentraciones hasta de 1800 ppm en ambas variedades. Es importante resaltar que el nitrógeno en

altas concentraciones favorece la formación de azúcares reductores, que disminuyen la pureza de los jugos (Chaves, 1999) y además forman parte de numerosos compuestos potencialmente activos en las reacciones de formación de color (Riffer, 1988). Entre estas reacciones está la de Maillard, que a más de resultar en la formación de color puede generar sustancias de alto peso molecular que incrementan la viscosidad de las corrientes azucaradas en el proceso de elaboración de azúcar (Honig, 1969).

Laboratorio de caña

Análisis de jugos

Se aplicó el procedimiento de prensado adoptado por el ingenio para obtener jugo de cada variedad, y los resultados obtenidos se muestran en el **Cuadro 19**.

Cuadro 19. Análisis de jugos en Laboratorio de caña.

Variedad	CC 93-4418	CC 85-92
Brix (%)	22.16 ± 0.56	22.47 ± 0.6
Sacarosa (%)	20.18 ± 0.81	20.68 ± 0.64
Pureza (%)	91.05 ± 1.62	92.01 ± 0.83
Color (U.I.)	12,655 ± 2,253	10,832 ± 1,218
pH	5.41 ± 0.18	5.74 ± 0.1
A.R. (%)	0.4 ± 0.08	0.42 ± 0.06
Fibra en caña (%)	19.52 ± 1.69	18.13 ± 2.63
Número de muestras	10	11

El contenido de sacarosa y sólidos solubles promedio fue 0.5 y 0.3 unidades, respectivamente, mayor para la variedad testigo, lo que se reflejó en mayor pureza. El color obtenido para la variedad CC 93-4418 fue 1800 UI, superior al color del testigo.

Parámetros de molienda

La tasa de molienda promedio durante la realización de la prueba fue similar para ambas variedades: 379 t/h para CC 93-4418 y 362 t/h para CC 85-92 (**Cuadro 20**). El jugo obtenido del proceso de extracción fue 1.4% caña menor en CC 93-4418; sin embargo, se aplicó 2.0% caña menos de agua de imbibición.

Cuadro 20. Parámetros de molienda.

Parámetro	CC 93-4418	CC 85-92
Caña molida (t)	688.5	1,117.40
Tasa de molienda (t/h)	379	362.4
Agua imbibición (m³)	173.8	303.7
Flujo imbibición (m³/h)	95.7	98.5
Imbibición % Caña	25.20%	27.20%
Jugo diluido (t)	647	1065.6
Flujo de jugo (t/h)	356.1	345.6
Jugo diluido % Caña	94.00%	95.40%

Bagazo final

Se procesaron muestras de bagazo final para determinar el desempeño de los equipos de preparación y molienda por medio del contenido de humedad y sacarosa a la salida del tándem. Los resultados obtenidos se muestran en el **Cuadro 21**.

Cuadro 21. Características del bagazo final.

Variedad	CC 93-4418	CC 85-92
Sacarosa (%)	1.8	1.75
Humedad (%)	48.47	49.07
Cenizas (%)	4.29	3.24
Poder calorífico B.S. (BTU/lb)	7,761	7,749

No se presentaron diferencias importantes en términos de sacarosa y humedad en bagazo final. Los resultados de cenizas obtenidos para la variedad CC 93-4418 fueron una unidad porcentual mayor que el testigo; resultado coherente con la mayor presencia de materia extraña mineral detectada en el muestreo por uñada.

Caracterización fisicoquímica de materiales de proceso

Inicialmente se realizaron análisis de color, turbiedad y pureza a jugos obtenidos a partir de tallos limpios prensados de las variedades evaluadas (**Figura 42**). Los resultados mostraron que con la variedad CC 93-4418, comparada con

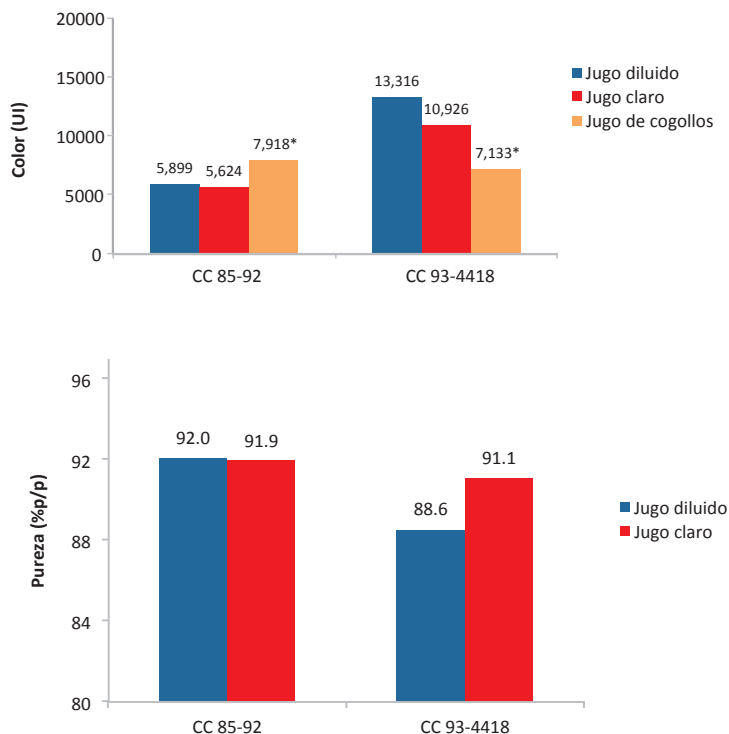


Figura 42. Color y pureza en materiales de proceso (jugos) en prueba preliminar.

el testigo CC 85-92, se obtuvo color promedio 2 veces mayor y purezas 3.4 puntos por debajo en jugo diluido, y el mismo comportamiento se observó en el jugo claro. Adicionalmente se evaluó el aporte de color de los cogollos al jugo, y se concluyó que el color del jugo de la variedad CC 93-4418 es propio del tallo y no de los cogollos. La turbiedad del jugo claro fue de 17 UI y 9 UI para la variedad evaluada y el testigo, respectivamente, lo que no tendría mayor implicación en el proceso de elaboración.

Los materiales de proceso analizados durante la prueba de molienda en fábrica fueron jugo diluido y jugo clarificado, a los que se les determinó: brix, sacarosa, pureza, azúcares reductores, fosfatos, turbiedad, sólidos insolubles,

almidones y polisacáridos (**Cuadro 22**). Para el jugo diluido se realizaron muestras compuestas durante una hora cada 10 minutos, y para el jugo clarificado se hicieron pruebas de jarras en laboratorio utilizando la muestra compuesta de jugo diluido, simulando para ello el proceso de clarificación que se realiza en el ingenio.

Cuadro 22. Caracterización de materiales de proceso (jugos).

Variable	Jugo diluido		Jugo clarificado	
	CC 85-92	CC 93-4418	CC 85-92	CC 93-4418
Brix (%)	16.9	17.5	17.3	17.5
Pureza (%)	89.5	90.1	88.4	91.2
Azúcares reductores (%)	0.3	0.3	0.2	0.2
pH	5.3	5.4	—	—
Fosfatos (ppm)	308	258	97	75
Turbiedad (UI)	—	—	38.5	25.5
Polisacáridos (mg/kg) base sólidos solubles	5378	3340	3110	3018
Almidones (mg/kg) base sólidos solubles	563	457	177	135

El jugo diluido de la variedad CC 93-4418 tuvo mayor contenido de sólidos insolubles y pureza comparado con el jugo de la variedad testigo, contrario a lo observado en los jugos obtenidos en el laboratorio de caña (**Cuadro 19**) y a los jugos prensados de tallos limpios (**Figura 42**). Esto pudo ser resultado de la extracción en molinos y del agua de imbibición, ya que se emplearon 27.2% caña para la variedad CC 85-92 y 25.2% caña para la CC 93-4418. Es importante anotar que los valores de brix obtenidos en jugo diluido con ambas variedades superan el promedio del ingenio durante el 2014, que fue 14.79%.

El contenido de polisacáridos totales y almidones depende en gran parte de la variedad de caña de azúcar. De acuerdo con esto, se observó que la variedad CC 93-4418 presentaba un menor contenido de polisacáridos (3340 mg/kg, expresado con base en sólidos solubles: SS) al compararla con la variedad testigo (5378 mg/kg, SS), y lo mismo ocurrió con el contenido de almidón.

En cuanto al color del jugo diluido y del jugo claro (**Figura 43**), con CC 93-4418 se obtuvo un color 1.1 veces mayor que con el testigo CC 85-92. Por otra parte, se observó que el jugo diluido y jugo claro de la variedad CC 93-4418 superó ligeramente los colores promedios obtenidos en el ingenio para el 2014 de $13,200 \pm 2100$ UI para jugo diluido y $12,500 \pm 1300$ UI para jugo claro.

El laboratorio de caña reportó el rendimiento teórico de cada variedad (**Cuadro 23**) con base en análisis de caña por el método de prensado a las muestras obtenidas.

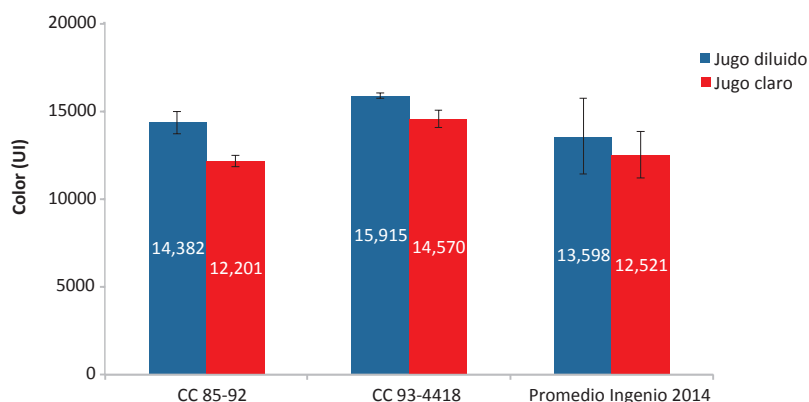


Figura 43. Color en materiales de proceso (jugos) en prueba de molienda.

Cuadro 23. Cálculo de rendimiento y TAH.

Variedad	CC 93-4418	CC 85-92
Edad de cosecha (meses)	12.69	12.4
Área cosechada (ha)	16.03	14.57
Caña cosechada (t)	1,869.80	1,770.60
Tiempo de permanencia (h)	1.74	3.65
Toneladas de caña por hectárea - TCH	116.65	121.53
Rendimiento teórico (%)*	13.53	13.94
Toneladas de azúcar por hectárea - TAH	15.78	16.94

* Rendimiento teórico de análisis de jugos de caña (Laboratorio de caña).

Los resultados de la prueba de molienda indicaron que la variedad CC 93-4418 presentó un comportamiento similar a la variedad CC 85-92 en el proceso de extracción, y también valores similares de fibra y materia extraña. Sus jugos se caracterizaron por tener un mayor color que CC 85-92, aunque oscilan en el rango de color alcanzado normalmente en fábrica, y menor contenido de polisacáridos.

Comportamiento en la cosecha

Las diferentes modalidades de cosecha de la caña de azúcar afectan el contenido de materia extraña, la cual disminuye el rendimiento en fábrica. Características de las variedades como el alto deshoje y cogollo corto contribuyen a disminuir la materia extraña; y tallos erectos y pesados incrementan la eficiencia de la labor de corte. Las dos formas más comunes de cosecha manual en la zona cañera del valle del río Cauca son quemada y verde, ambas con descogolle en el aire.

Evaluación de la variedad CC 93-4418 en el ingenio María Luisa

Considerando la alta producción de CC 93-4418, sus características agronómicas (tallos con diámetro superior a 30 mm, buen deshoje, ausencia de floración y poco volcamiento) y la necesidad de sembrarla en las zonas donde mejor se adapta, durante los días 18 y 19 de octubre de 2006 se realizó una evaluación de la variedad en campo, cosecha y fábrica, incluida una prueba de molienda de 25.4 horas, en comparación con el testigo CC 85-92.

La variedad CC 93-4418 fue sembrada en septiembre de 2005 en 20 ha de la hacienda La Guaca, suerte 7, donde predomina la zona agroecológica 6H1. La variedad testigo CC 85-92 (segunda soca) se encontraba sembrada en 9.2 ha de la misma hacienda, suerte 5D, zona agroecológica 6H1. Las evaluaciones se realizaron en 6 ha de la suerte 7 y en 6 ha de la suerte 5D. La variedad CC 93-4418 se cosechó a la edad de 13.6 meses y la variedad CC 85-92, a la edad de 14.5 meses, ambas de forma manual y con quema previa.

En la evaluación se observó que CC 93-4418 no presentó floración, que los tallos no contenían médula y que el 90% se encontraban erectos y los caídos seguían una misma dirección, de manera que al momento del corte

se alinearon y acomodaron formando una chorra compacta que facilitó las labores de alce y acomodo en vagones. Por su parte, la variedad testigo CC 85-92 presentó el 50% de los tallos volcados.

El rendimiento del corte manual fue de 6.5 toneladas de caña por hombre por día con CC 93-4418 y de 5.3 t/hombre/día con CC 85-92, en promedio. Con la primera variedad, más del 66% de los corteros alcanzaron rendimientos por encima de 6 t/día, en algunos casos hasta 13 t/día, de forma que se consiguió superar en 22 unidades porcentuales la eficiencia de la labor con respecto al corte de CC 85-92, con la cual solo el 44% de los corteros superaron las 6 t/día. El 17% de los corteros obtuvo rendimientos de 4 t/día o menos con CC 93-4418, y de 31% con CC 85-92: una diferencia de 14 unidades porcentuales (**Figura 44**). En el ingenio María Luisa el rendimiento de corte con caña quemada es de 4.5 t/hombre/día en promedio. La eficiencia de corte es mayor con CC 93-4418, debido a que esta variedad es de tallos erectos y fácil deshoje y descogolle. El machete entra con mayor facilidad en esta variedad que en la variedad testigo.

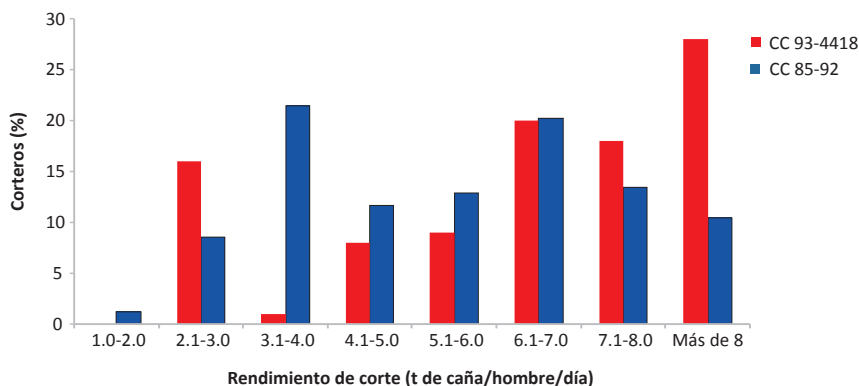


Figura 44. Distribución de corteros según rendimiento de la labor con el sistema de caña quemada. Variedades CC 93-4418 (suerte 7) y CC 85-92 (suerte 5D), hacienda La Guaca del ingenio María Luisa, octubre de 2006.

Para el transporte de la caña se utilizaron los vagones HD 30,000, HD 12,000 y HD 5000. La variedad CC 85-92 presentó tallos decumbentes que no permitieron su buen acomodamiento en los vagones, algo común en la variedad debido a su volcamiento cuando la producción es superior a 120 TCH.

La capacidad de carga de los vagones aumentó cuando se transportó caña de la variedad CC 93-4418, debido a que estaba erecta. La mayor eficiencia de transporte se refleja en menor número de viajes para el apronte de las 800 t que muele diariamente el ingenio María Luisa. Para aprovechar la ventaja de la nueva variedad en términos de los costos de transporte, la meta es sembrarla en los sitios adecuados que se encuentren a menos de 15 km de distancia de la fábrica, utilizando el vagón HD 5000 para el transporte de la caña cosechada. En este sentido, el ingenio se ahorró el costo de 16 viajes al transportar caña de CC 93-4418 en los vagones HD 5000 de su propiedad (**Cuadro 24**).

Cuadro 24. Eficiencia en el transporte de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 cosechadas con quema y de forma manual en la hacienda La Guaca del ingenio María Luisa, zona agroecológica 6H1. Fechas de cosecha: 18 y 19 de octubre de 2006.

Vagón	Vagones por tren (No.)	CC 85-92			CC 93-4418			Diferencia viajes/día (No.)
		Peso vagón (t)	Peso tren (t)	Viajes/día (No.)	Peso vagón (t)	Peso tren (t)	Viajes/día (No.)	
HD 30000	2	16	32	25	21	42	19	6
HD 12000	4	9	35	23	12	48	17	6
HD 5000	5	4	20	40	7	34	24	16

Evaluación de la variedad CC 93-4418 en el ingenio Mayagüez

En el ingenio Mayagüez, en donde el área sembrada con CC 93-4418 alcanzó 3735 ha en 2012, se evaluó en ese mismo período el efecto que el tipo de descogolle (aire vs suelo) tiene sobre el rendimiento del cortero y la presencia de materia extraña. Esta evaluación se hizo en caña verde y caña quemada en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418.

En el **Cuadro 25** se aprecia que en caña verde el rendimiento de CC 93-4418 supera significativamente a CC 85-92 en 2 t/hombre/día, en tanto en caña quemada la diferencia es de 1.4 t/hombre/día a favor de CC 93-4418. Este resultado es importante para la cosecha en verde manual, dado que la industria todos los años incrementa el área con caña en verde.

Cuadro 25. Rendimiento promedio del corte por modalidad y variedad.

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

* Medias seguidas por diferente letra significa que varían estadísticamente al 5% con la prueba de Bonferroni.

Según los resultados que muestra el **Cuadro 26**, en caña verde el efecto del descogolle solo es significativo en la variedad CC 93-4418, e incrementa el rendimiento del cortero en 1.1 t/hombre/día, cuando el descogolle se hace en el suelo. En caña quemada el efecto del descogolle es significativo tanto para CC 93-4418 como para CC 85-92, y aumenta el rendimiento del cortero en 0.9 t/hombre/día y 0.8 t/hombre/día, respectivamente, cuando se hace en el suelo.

Cuadro 26. Rendimiento promedio del corte por modalidad, variedad y tipo de descogolle.

Modalidad	Variedad	Tipo de descogolle	Rendimiento de corte (t/hombre/día)
Caña verde	CC 93-4418	Suelo	5.6 a
		Aire	4.5 b
	CC 85-92	Suelo	3.1 c
		Aire	3.0 c
Caña quemada	CC 93-4418	Suelo	7.8 a
		Aire	6.9 b
	CC 85-92	Suelo	6.3 c
		Aire	5.5 d

* Medias seguidas por diferente letra significa que varían estadísticamente al 5% con la prueba de Bonferroni.

En el **Cuadro 27** se observa el efecto del tipo de descogolle sobre la cantidad de materia extraña. En caña verde, el descogolle en el suelo no incrementó la materia extraña en forma significativa en las variedades CC 93-4418 y CC 85-92. En caña quemada el descogolle en el suelo redujo el contenido de materia extraña en 0.5% y 0.4% en las variedades CC 93-4418 y CC 85-92, respectivamente. En general, puede concluirse que la materia extraña disminuye cuando el corte se hace en el suelo en caña quemada.

Cuadro 27. Porcentaje de materia extraña por modalidad, variedad y tipo de descogolle.

Modalidad	Variedad	Tipo de descogolle	Materia extraña (%)
Caña verde	CC 93-4418	Suelo	8.5 a
		Aire	8.2 a
	CC 85-92	Suelo	5.9 b
		Aire	5.7 b
Caña quemada	CC 93-4418	Suelo	2.2 c
		Aire	2.7 a
	CC 85-92	Suelo	2.0 d
		Aire	2.4 b

* Medias seguidas por diferente letra significa que varían estadísticamente al 5% con la prueba de Bonferroni.

Los tallos de CC 93-4418 son más erectos que los de CC 85-92, lo que permite su mejor acomodación en el vagón y, por tanto, aumentar las toneladas de caña transportadas por vagón. Con la información de cosecha del ingenio Mayagüez del año 2012 y primer trimestre del 2013 se encontró en todos los casos (p -valor < 0.05) que el promedio de toneladas de caña transportadas por vagón fue mayor para CC 93-4418 que para CC 85-92 (**Cuadro 28**).

Cuadro 28. Diferencia de las toneladas de caña transportadas entre CC 93-4418 y CC 85-92.

Corte	Vehículo	Caña (t/vagón) a favor de CC 93-4418	p-valor ¹
Quemada-Manual	HD12000	2.1	<0.05
	HD12000_37	1.8	<0.05
	HD20000	2.9	<0.05
	HD20000_S	2.6	<0.05
Quemada-Mecánica	HD12000	0.7	<0.05
	HD12000_37	0.9	<0.05
	HD20000	1.9	<0.05
	HD20000_S	1.7	<0.05
Verde-Manual	HD12000	2.3	<0.05
	HD12000_37	1.8	<0.05
	HD20000	2.7	<0.05
	HD20000_S	2.4	<0.05
Verde-Mecánica	HD12000	0.4	<0.05
	HD12000_37	0.3	<0.05
	HD20000	0.8	<0.05
	HD20000_S	0.7	<0.05

1. P-valor menor que 0.05 indica que la diferencia es estadísticamente diferente de cero al 5% de significancia con la prueba de Bonferroni.

Comportamiento de CC 93-4418 frente a CC 85-92 a través de los cortes

La producción de caña de azúcar se sustenta en gran medida en la longevidad de la plantación y en su capacidad de sostener la producción de caña de azúcar a través de los cortes, por lo cual es objetivo primario de una nueva variedad mantener el TCH y el rendimiento, como mínimo, en el nivel de la variedad comercial actualmente cultivada. Por tanto, dado que la adopción de la variedad CC 93-4418 se está incrementando en la industria, es importante conocer cómo se comporta en este aspecto. Para ello se realizó un análisis tendiente a caracterizar la capacidad soquera de la variedad CC 93-4418. En este análisis descriptivo se compararon las medias de productividad por corte y por año de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 obtenidas en la producción comercial en el periodo 2009 a 2014. Adicionalmente, mediante el método de los modelos lineales generales se expresó la variación del TCH en función del año, la variedad, el corte, la interacción variedad x corte, la edad y la edad al cuadrado, variables estas dos últimas consideradas como covariables. Se construyó entonces un modelo lineal de efectos mixtos en el cual los años se consideraron de efectos aleatorios y la variedad, el corte y su interacción se consideraron de efectos fijos. Con base en este modelo se hizo un análisis de varianza y posteriormente, por mínimos cuadrados, se estimaron los promedios para cada uno de los niveles de los factores considerados y se realizaron comparaciones planeadas entre las variedades por corte.

Al comparar las tendencias en TCH entre las dos variedades por corte y por año, se pudo apreciar de manera clara y confiable el comportamiento de estas dos variedades. En este caso se comparan los resultados en el mismo año con igual número de cortes. Se observó que la variedad CC 93-4418 en 20 de 27 comparaciones realizadas superó en TCH a la variedad CC 85-92 (**Figura 45**). Para hacer equiparables los años del estudio se definió como factor de ponderación 1.0 la producción de 141 TCH de CC 85-92 en el año 2009, y luego se calcularon los factores de ponderación para los siguientes años utilizando la producción de CC 85-92 del respectivo año con relación a la del año 2009. Con estos factores se ajustaron los valores de TCH de ambas variedades, y con estos nuevos valores se calculó la diferencia entre las TCH de las dos variedades para cada año y corte. Hecho esto, se comprobó que la variedad CC 93-4418 superó, en promedio, en 10.6 TCH a la variedad CC 85-92 (**Figura 46**).

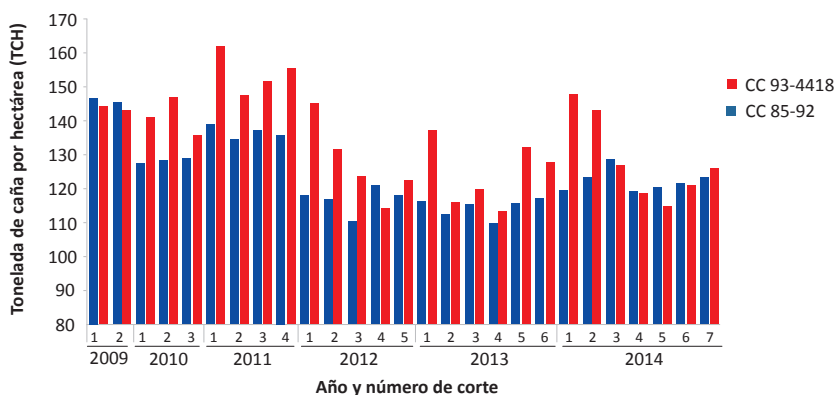


Figura 45. Tonelaje de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 en el periodo 2009-2014 por número de corte.

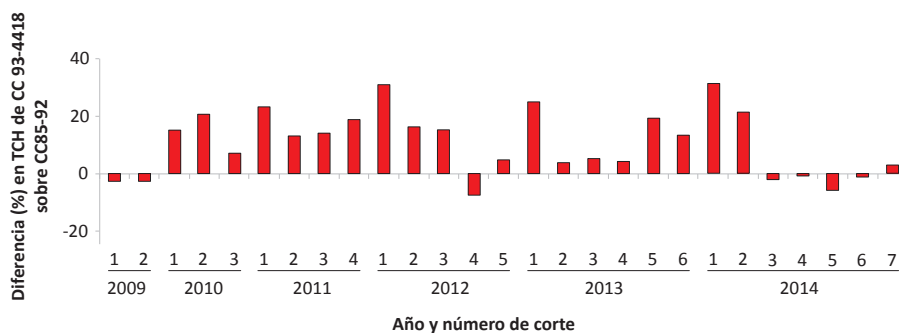


Figura 46. Diferencia en TCH de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 en el periodo 2009-2014 por número de corte.

En el modelo lineal general el análisis de varianza mostró efectos significativos para los factores variedad y cortes y su interacción y para las covariables. Dada la significancia de la interacción variedad x corte, se muestran en el **Cuadro 29** las comparaciones planeadas por corte entre las variedades. Se observa que en TCH la variedad CC 93-4418 superó a CC 85-92 hasta el tercer corte, y en adelante las TCH son iguales en ambas. En conclusión, los anteriores resultados evidencian que CC 93-4418 muestra hasta el séptimo

Cuadro 29. Toneladas de caña por hectárea por variedad y corte.

Variedad	Corte	TCH
CC 85-92	1	122 a*
CC 93-4418	1	147 b
CC 85-92	2	127 a
CC 93-4418	2	139 b
CC 85-92	3	128 a
CC 93-4418	3	135 b
CC 85-92	4	128 a
CC 93-4418	4	131 a
CC 85-92	5	130 a
CC 93-4418	5	130 a
CC 85-92	6	130 a
CC 93-4418	6	140 a
CC 85-92	7	127 a
CC 93-4418	7	134 a

* Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente.
Prueba de T al 5%.

corte un buen desempeño en TCH comparada con CC 85-92, y que el análisis por año elimina el efecto de la temporalidad, al igual que el realizado utilizando los modelos lineales generales.

En cuanto al rendimiento, los resultados muestran que CC 93-4418 tiende a comportarse de manera similar que CC 85-92 unos años, y en otros es inferior o superior a CC 85-92 (**Figura 47**).

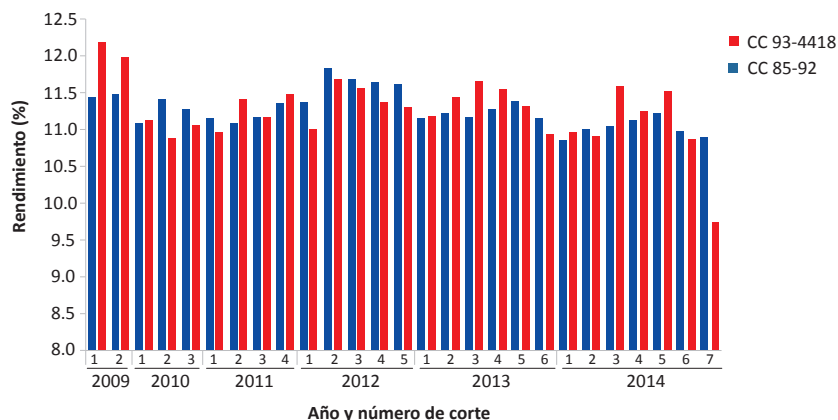


Figura 47. Rendimiento (%) de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 en el periodo 2009-2014 por número de corte.

Finalmente, en cuanto al TAH (**Figura 48**), la variedad CC 93-4418 registró valores superiores a CC 85-92 en la mayoría de los casos en los cuales se hizo la comparación en el periodo 2009 a 2014.

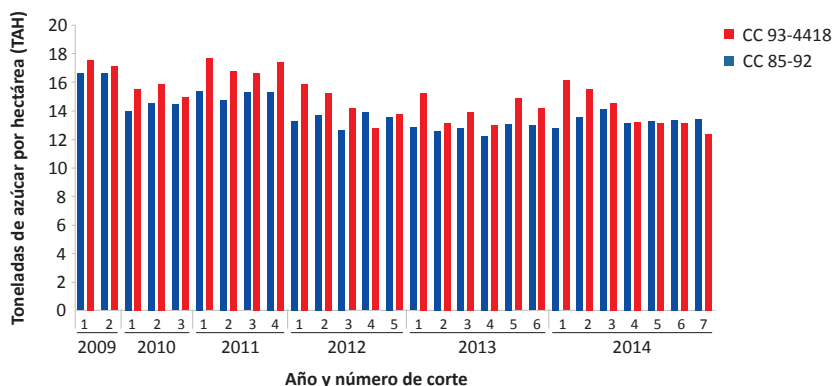


Figura 48. Toneladas de azúcar por hectárea (TAH) de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 en el periodo 2009-2014 por número de corte.

Análisis de la productividad comercial de variedades en el periodo 2010-2015

En el periodo 2010-2015 la variedad más sembrada y cosechada en el valle del río Cauca fue CC 85-92; sin embargo, cabe resaltar la participación de CC 93-4418, que en 2014 incrementó su área cosechada a 25,115 hectáreas, es decir, 11.7 veces el área cosechada en 2010 (**Cuadro 30**). En 2012 esta variedad ocupó el segundo lugar en área sembrada y desplazó a CC 84-75. La productividad de CC 93-4418 en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) fue superior a la del resto de variedades más cosechadas en el periodo 2010-2012, específicamente comparada con CC 85-92 (1.5 TAH, 2.9 TAH y 2.2 TAH más, respectivamente, en 2010, 2011 y 2012). Para 2013 y 2014 estuvo por encima de CC 85-92 en 2.0 TAH y 1.8 TAH (**Cuadro 30** y **Cuadro 31**). En los años 2013 y 2014 continuó incrementando su productividad hasta alcanzar las 15.2 TAH, muy por encima de CC 85-92. En 2015 su productividad fue de 14.2 TAH, 1.1 TAH más que CC 85-92.

Cuadro 30. Principales variedades de caña de azúcar cultivada y cosechada por la industria azucarera colombiana en el periodo 2010-2015, con su respectiva productividad promedio.

Año	Variedad	Área sembrada		Área cosechada		Edad (meses)	Corte (N.º)	TCH	TAH	TCHM	TAHM	Rto. (%)
		(ha)	(%)	(ha)	(%)							
2010	CC 93-4418	5,179	2	2,152	1	12.6	1.7	131.3	14.4	10.5	1.1	11.0
	V 71-51	5,664	3	5,241	3	12.3	10.6	117.7	13.1	9.6	1.1	11.2
	CC 85-92	156,017	72	131,530	74	12.4	5.2	115.2	13.0	9.4	1.1	11.3
	PR 61-632	2,948	1	2,959	2	12.5	8.5	117.3	12.8	9.4	1.0	10.9
	CC 93-3895	1,955	1	2,136	1	12.4	3.1	114.0	12.7	9.3	1.0	11.1
	CC 84-75	22,813	10	21,447	12	12.4	5.5	107.6	11.6	8.7	0.9	10.8
2011	CC 93-4418	8,168	4	4,351	2	13.8	1.8	145.9	16.7	10.6	1.2	11.4
	PR 61-632	2,698	1	2,751	1	13.9	8.2	125.4	14.0	9.1	1.0	11.1
	V 71-51	4,582	2	4,784	3	13.9	11.1	124.6	13.9	9.1	1.0	11.2
	CC 85-92	156,774	70	139,443	75	14.0	5.2	121.3	13.8	8.9	1.0	11.3
	CC 93-3895	1,469	1	1,795	1	13.8	4.0	116.7	13.4	8.6	1.0	11.5
	CC 84-75	19,992	9	20,085	11	13.9	5.5	115.8	12.9	8.4	0.9	11.1
2012	CC 93-4418	18,067	8	8,032	4	13.0	2.2	121.3	14.3	9.5	1.1	11.8
	CC 93-3826	1,811	1	1,794	1	12.6	2.9	111.9	12.7	8.9	1.0	11.4
	PR 61-632	2,413	1	3,340	2	12.6	8.2	116.7	12.7	9.3	1.0	10.9
	V 71-51	4,222	2	4,535	2	12.8	11.2	110.0	12.6	8.7	1.0	11.4
	CC 85-92	151,181	66	154,641	75	12.8	5.6	103.0	12.2	8.2	1.0	11.8
	CC 84-75	16,934	7	20,094	10	12.8	6.1	97.5	11.3	7.7	0.9	11.6
2013	CC 01-1940	12,495	6	3,245	2	12.7	1.2	126.8	14.5	10.1	1.1	11.4
	CC 93-4418	27,184	12	16,544	9	12.7	1.9	124.3	14.4	9.8	1.1	11.6
	V 71-51	2,862	1	3,280	2	12.4	11.1	114.1	13.0	9.2	1.1	11.4
	CC 85-92	136,384	61	137,447	71	12.4	5.7	106.8	12.5	8.7	1.0	11.7
	PR 61-632	2,173	1	2,210	1	12.5	7.6	116.1	12.4	9.4	1.0	10.7
	CC 84-75	12,908	6	14,577	8	12.4	6.6	100.8	11.3	8.2	0.9	11.2
2014	CC 01-1940	27,227	12	9,871	5	13.3	1.4	136.3	15.7	10.3	1.2	11.5
	CC 93-4418	28,894	13	25,115	13	13.0	2.1	132.9	15.3	10.3	1.2	11.5
	CC 01-1228	3,213	1	2,623	1	12.9	2.0	130.0	14.3	10.2	1.1	11.0
	V 71-51	2,322	1	2,325	1	12.8	10.8	124.0	14.2	9.7	1.1	11.4
	CC 85-92	119,700	52	125,484	64	12.9	5.9	115.3	13.5	9.0	1.1	11.7
	CC 84-75	9,997	4	11,050	6	12.8	7.1	109.7	12.4	8.7	1.0	11.3

Continúa

Cuadro 30. Continuación

Año	Variedad	Área sembrada		Área cosechada		Edad (meses)	Corte (N.º)	TCH	TAH	TCHM	TAHM	Rto. (%)
		(ha)	(%)	(ha)	(%)							
2015*	CC 01-1940	48,120	21	24694	14	13.2	1.6	128.4	14.7	9.9	1.13	11.5
	CC 93-4418	33,900	15	29787	16	12.8	2.7	121.9	14.2	9.6	1.11	11.6
	CC 01-1228	3,162	1	3173	2	12.6	2.3	123.3	13.8	9.8	1.10	11.2
	CC 85-92	101,371	44	107834	56	12.9	6.4	112.5	13.0	8.8	1.02	11.6
	CC 84-75	7,246	3	8625	4	12.8	7.7	104.8	11.9	8.3	0.94	11.4
	SP 71-6949	3,613	2	3135	2	12.3	2.1	101.6	11.3	8.3	0.92	11.1
Desviación estándar						1.5	3.9	27.4	3.2	2.1	0.24	1.2

* Área total sembrada con caña de azúcar: 232,070 ha.
 Área total en renovación: 7076 ha.
 Área total disponible para el cultivo: 224,994 ha.

Cuadro 31. Ventaja en productividad de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) sobre el factor tierra de la variedad CC 93-4418 sobre la CC 85-92. Promedios anuales de la industria 2012-2015. Valle del río Cauca, Colombia.

Variables	Año			
	2012	2013	2014	2015
Variedad más cosechada	CC 85-92	CC 85-92	CC 85-92	CC 85-92
Ventaja en TAH de CC 93-4418 con respecto a CC 85-92 (%)	17.8	16.2	13.9	8.7
Área sembrada con CC 85-92 (%)	66	61	52	44
Área sembrada con CC 93-4418 (%)	8	12	13	15

La adopción de la variedad CC 93-4418 contribuirá a incrementar los promedios de productividad de TCH y rendimiento en la industria azucarera colombiana en la medida que su participación en área sea mayor, para tener un impacto considerable en los resultados de la cosecha. Es importante anotar que hasta el 2014 se aceleró la adopción de esta variedad, y a 31 de diciembre de ese año tenía un área sembrada de 32,261 hectáreas, ocupando con ello el segundo lugar en área sembrada (**Figura 49**) y en el 2015 pasó al tercer lugar con un área de 33,900 hectáreas.

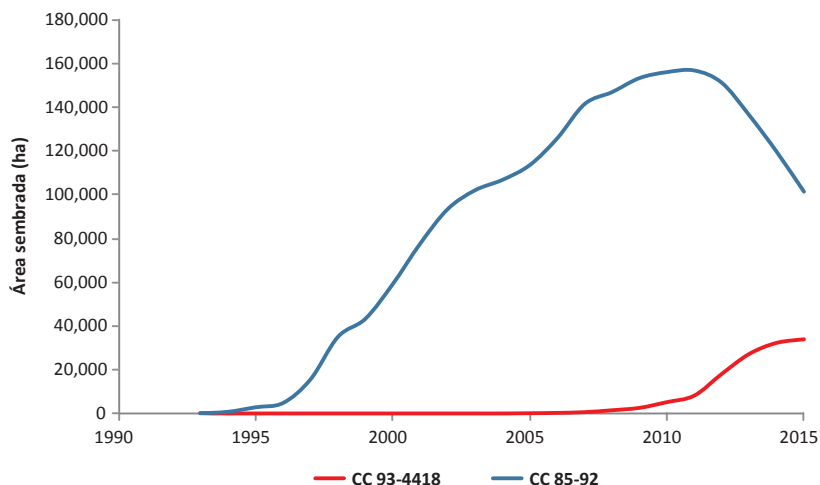


Figura 49. Curvas de adopción de las variedades de caña de azúcar CC 93-4418 y CC 85-92 en la agroindustria azucarera colombiana.

Aunque ya se mencionó, se deben reiterar, por su importancia, dos características de la variedad CC 93-4418: su resistencia a la roya café y su porte erecto, factores que facilitan su cosecha mecanizada en la zona semi-seca, en donde ha mostrado su mayor potencial, puesto que fue desarrollada para suelos de alta fertilidad y buen drenaje.

En síntesis, en el **Cuadro 31** se puede observar que esta variedad ha superado entre el 9% y el 21% las TAH de la variedad CC 85-92, la más cosechada por la industria y, dado que CC 93-4418 no tiene el mismo comportamiento en todos los sitios, es fundamental elegir la zona óptima para sembrarla para que pueda expresar su mayor potencial.

Agradecimientos

Cenicaña agradece a las siguientes personas que contribuyeron con información y colaboración oportuna en los procesos de investigación, evaluación y validación de la variedad CC 93-4418 en el valle del río Cauca:

Clímaco Cassalett	Jaime Calero
Jorge S. Arango (q.e.p.d.)	Luis Eduardo Cuervo
José Lara	Oscar M. Delgado
Juan José Uribe	Alberto Roldán
Hernando A. Rangel	Daniel Lenis
Humberto Calderón	Daniel Galvis
Luis E. Alvarado	Eliseo Nossa
Javier Bohórquez	Ricardo Franco
Luis A. Gómez	Tulio Escobar
Jairo Nova	Yuri Peralta
Ramiro Besosa	Jorge Arcila
Luis Napoleón Bernal	Amanda Villegas
Carlos Nieto	Gustavo Barona
Alfonso Camargo	Jaime F. Gómez
Jorge Herrada	Gustavo Medina

De igual manera, agradece la participación en dichos procesos de los ingenios azucareros Carmelita, Castilla-Riopaila, Central Tumaco, Incauca, La Cabaña, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Risaralda y Sancarlos; de los proveedores de caña de azúcar de los ingenios azucareros; y de los investigadores, prácticos agrícolas y personal auxiliar de Cenicaña.

Referencias bibliográficas

- Amaya, A.; Cock, J.H.; Hernández, A. y Irvine, J. 1995. Biología. En: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Cenicaña, pp. 31-62.
- Annicchiarico, P. 2009. Coping with and exploiting genotype-by-environment interactions. Chapter 20. In: Plant breeding and farmer participation. S.Ceccarelli, E. P. Guimaraes, E. Weltzien, Eds. FAO, Rome, pp. 519-569.
- Blackburn, F. 1991. Sugarcane. Tropical Agricultural series. Longman Group, Essex. Reino Unido.
- Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia, Cenicaña. 1984. Informe anual, 1983. Cali, Colombia. p 37.
- Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia, Cenicaña. 2009. Sistema experto de fertilización (SEF). Enlace: <http://www.cenicana.org/aeps/sef.php>, página web de Cenicaña.
- Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia, Cenicaña. 2011. Guía de recomendaciones técnicas con enfoque AEPS (GRT). Enlace: <http://www.cenicana.org/aeps/grt.php>
- Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia, Cenicaña. 2014. Informe Anual 2013. Cali. Cenicaña. 131 pp.
- Cock, J. H.; Amaya, A.; Bohórquez, C. y Munchmeyer, B. 1997. Simulation of production potential of self-defoliating sugarcane cultivars. Field Crops Research, 54, 1–8.
- Collatz, G.J.; Ribas-Carbo, M. y Berry, J.A. 1992. Coupled photosynthesis stomatal conductance model for leaves of C4 plants. Aust. J. Plant Physiol. 19, 519–538.
- Condon, A.; Richards, R. y Farquhar, G. 1990. Genotypic variation carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat. Leaf gas exchange whole plant studies. Australian Journal Plant Physiology. 17, 9-22.
- Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de Sao Paulo (Brasil) 1986. Variety notes. 4 rev. Piracicaba, Copersucar. 78 pp.
- Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de Sao Paulo (Brasil) 1991. Variety notes. An International variety directory. 5 rev. Piracicaba, Copersucar. 73 p.
- Cuarán, V.L.; Castro, U.; Bustillo, A.E.; Mesa, N.C.; Ramírez, G.; Moreno, C.A. y Gómez, L.A. 2012. Método para evaluar el daño de los salivazos (Hemiptera: Cercopidae) sobre caña de azúcar, *Saccharum* spp. Revista Colombiana de Entomología, 38: 171-176.
- Chaves, M. 1999. El nitrógeno, fósforo y potasio en la caña de azúcar. En: Memorias del XIII Congreso Nacional de Técnicos Azucareros de Costa Rica (Atacori). Guanacaste. pp. 187-215.

- De Costa, W.A.J.M. 2000. Principles of Crop Physiology: Towards an understanding of crop yield determination and improvement. University of Peradeniya, Sri Lanka. pp 123-129.
- De Silva, A. L. C. y De Costa, W.A.J.M. 2009. Varietal variation in stomatal conductance, transpiration and photosynthesis of commercial sugarcane varieties under two contrasting water regimes. Tropical Agricultural Research & Extension 12 (2), 97-103.
- Delgado, G. 2001. Pruebas de diferencias de medias o de comparaciones múltiples. <http://colposfesgaleon.com/disenos/teoria/cap13bmj/cap13bmj.htm>.
- Dunnett, C.W. 1964. New tables for multiple comparisons with control. Biometrics, Vol. 20. N°. 3. pp. 482-491.
- Farshadfar, E; M. Rashidi; MM. Jowkar, y H. Zali. 2013. GGE Biplot analysis of genotype x environment interaction in chickpea genotypes. European Journal of Experimental Biology, 3(1): 417-423.
- Farquhar, G. y Richards, R. 1984. Isotopic composition of plant correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. Australian Journal Plant Physiology. 11, 539 - 552.
- Fernández, M.E. y Gyenge, J.E. 2010. Técnicas de medición en ecofisiología vegetal: conceptos y procedimientos. Ediciones INTA. 140 pp.
- Gardner, F.P.; Brent Pearce, R y Mitchel, R.L. 1985. Carbon fixation by crop canopies. In: Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. pp. 31-57.
- Gauch, H.G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam.
- Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Sci. 46:1488–1500.
- Gauch, H. G. y Zobel, R. W. 1996. AMMI Analysis of Yield Trials. In: Genotype-by Environment Interaction (Eds.): Kang, M. S. and Gauch, H. G. Jr. CRC Press, New York. pp. 235-271.
- Gauch, H. G. 2007. MATMODEL Version 3.0: AMMI and Related Analyses for TwoWay Data Matrices. Microcomputer Power, Ithaca, NY.
- Gómez, L.A.; Palma, A.E. y Gaviria, J.D. 1990. Determinación de un sistema de muestreo para determinar niveles de daño causados por *Sipha flava* (Homoptera: Aphididae) en campos comerciales de caña de azúcar. En: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 3., y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de América Latina y el Caribe, 1. Memorias. 10-14 Septiembre, 1990 Tomo 1, pp. 249-259. Cali, Colombia.
- Gómez, L.A. 2007. Manejo del salivazo *Aeneolamia varia* en cultivos de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Carta Trimestral 2 y 3, pp. 10-17, Cenicana, Cali Colombia. Disponible Online: (http://www.cenicana.org/pdf/carta_trimestral/ct2007/ct2y3_07/ct2y3_07_p10-17.pdf)

- Goudriaan, J. 1986. A simple and fast numerical method for the computation of daily totals of crop photosynthesis. Short communication. En: *Agricultural and forest Meteorology*, Holanda. Vol. 38 (1-3): 180-182.
- Grantz, D.A. 1989. Effect of cool temperatures on photosynthesis and stomatal conductance in field-grown sugarcane in Hawaii. *Field Crops Res.* 22,143-155.
- Grupo de países latinoamericanos y del Caribe exportadores de Azúcar (México). 1984. Manual de información sistematizada sobre variedades de caña de azúcar y especies afines. Versión preliminar. México, Geplacea., 425 pp. (Manuales de Tecnología, N.º 2).
- Gutschick, V. P. 1997. Photosynthesis, growth rate and biomass allocation. In *Ecology in Agriculture*, Academic Press, San Diego, 1997, pp. 39-78.
- Hatch, M.D. 1999. C4 photosynthesis: a historical overview, in: R.F. Sage, R.K. Monson (Eds.), *C4 Plant Biology*, Academic Press, San Diego, pp.17-46.
- Hay, R.K.M. y Porter, J.R. 2006. *The Physiology of Crop Yield*. 2nd ed. Blackwell Publishing Company. Oxford, U.K. 328 pp.
- Honig, P. 1969. Principios de tecnología azucarera. Tomo 1. Continental, S. A., Méjico-Argentina.
- Inman-Bamber, N.G.; Bonnett, G.D.; Spilman, M.F.; Hewitt, M.L. and Jackson, J. 2008. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. *Aust. J. Agric. Res.* 59, 13-26.
- Irvine, J.E. 1967. Photosynthesis in sugarcane varieties under field conditions. *CropSci.* 7, 297-300.
- Isaacs Echeverri, C.H.; Mosquera Daza, L.A.; Vega Osorio, A.; Pizarro Esguerra, M. C.; Guzmán Rivera, S.P. y Alarcón Muriel, S.L. 2014. Caracterización de base y adopción de tecnologías agrícolas en la agroindustria azucarera del valle geográfico del río Cauca. Informe consolidado 2013-2014. Proyecto Seguimiento dinámico a la adopción de tecnología y evaluación de impacto. Cali. Cenicaña. 54p. (Documento de trabajo, No. 743).
- Kortschak, H.P.; Hartt, C.E. y Burr, G.O. 1965. Carbon dioxide fixation in sugarcane leaves. *Plant Physiol.* 40, 209-214.
- Ludlow, M. y Muchow, R. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy.* 43, 107-151.
- Machado, R.S.; Ribeiro, R.V.; Marchiori, P.E.R.; Machado, D.F.S.P.; Machado, E.C. y Landell, M.G.A. 2009. Biometric and physiological responses to water deficit in sugarcane at different phenological stages. *Pesq. Agropec. Bras.* 44, 1575-1582. (En portugués).
- McCormick, A.J.; Cramer, A.J. y Watt, D.A. 2008. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. *Field Crops Res.* 108, 250-258.

- Marchiori, P.E.R.; Machado, E.C. y Ribeiro, R.V. 2014. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field grown sugarcane varieties. *Field Crops Res.* 155, 30-37.
- Murillo S., P.J. y Carbonell G., J. A. 2012. Principios y aplicaciones de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia. Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. 184 pp.
- Penning de Vries, F.W.T.; Jansen, D.M.; ten Berge, H.F.M. y Bakema, A. 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen, Netherlands. 280 pp.
- Ribeiro, R.V.; Machado, R.S.; Machado, E.C.; Machado, D.F.S.P.; Magalhães Filho, J.R., y Landell, M.G.A. 2013. Revealing drought resistance and productive patterns in sugarcane genotypes by evaluating both physiological responses and stalk yield. *Exp. Agric.* 49, 212-224.
- Riffer, R. 1988. The nature of colorants in sugarcane and cane sugar manufacture. *Chemistry and Processing of Sugarbeet and Sugarcane*, edited by M.A. Clarke and M.A. Godshall Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. pp. 186-207.
- Sage, R.F.; Sage, T.L. y Kocacinar, F. 2012. Photorespiration and the evolution of C4 photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63, 19-47.
- Salazar V., F.A. y Victoria K., J.I. 2013. Effect of climate variables on the selection of sugarcane varieties for the Cauca river Valley of Colombia. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* Vol. 28. 11 pp.
- SAS Institute Inc. 2014. SAS/STAT 13.2 User's Guide. The Mixed Procedure. Cary, NC: SAS Institute Inc. 365 pp.
- SAS Institute Inc., 2014b. SAS/STAT 13.2 User's Guide. The IML Procedure. Cary, NC: SAS Institute Inc. 365 pp.
- Souza, A.P.; Gaspar, M.; Silva, E.A.; Ulian, E.U.; Wacławowski, A.J.; Nishiyama, J.R.M.Y.; Santos, R.V.; Teixeira, M.M.; Souza, G.M. y Buckeridge, M.S. 2008. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. *Plant Cell Environ.* 31, 1116-1127.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.
- Tejera, N.A.; Rodés, R.; Ortega, E.; Campos, R. y Lluch, C. 2007. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. *Field Crops Res.* 102, 64-72.
- Vargas, G. A. y Gómez, L. A. 2005. Evaluación del daño causado por *Diatraea* spp. en caña de azúcar y su manejo en el valle del río Cauca. Cali, Cenicaña. 8 pp. (Serie Divulgativa N°.9). Disponible online: http://www.cenicana.org/pdf/serie_divulgativa/sd_09/sd_09.pdf

- Vargas O. G. A. 2015. Retos y oportunidades en el manejo de los barrenadores del tallo, *Diatraea* spp. Cali, Cenicaña. 6 p. (Serie Divulgativa N.O 17). Disponible online: http://www.cenicana.org/pdf/serie_divulgativa/sd_17/sd_17.pdf
- Victoria Kafure, J. I.; Viveros Valens, C. A.; Salazar Villareal, F. A. Ángel Sánchez; Bustillo Pardey, A. E.; Castro Valderrama, U.; López Gerena, Jershon y Moreno Gil, C. A. 2013. Catálogo de variedades de caña de azúcar. Cali: Centro de Investigación de la caña de azúcar de Colombia, 3 ed. 140 pp.
- Villegas Trujillo, F. y Ramírez C., C. 2012. Estudio de algunos de los factores que afectan la germinación de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. En: VIII Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe y IX Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar. Memorias Atalac, Tecnicaña. Septiembre 12-14, Vol. 1 pp. 520-533. Cali, Colombia.
- Viveros Valens, C.A. 2011. Identificación de características asociadas con la mejor eficiencia en el uso de agua para la producción de caña de azúcar. Tesis PhD. en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira), Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia. 120 pp.
- Vu, J.C.V.; Allen Jr., L.H. y Gesch, R.W. 2006. Up-regulation of photosynthesis and sucrose metabolism enzymes in young expanding leaves of sugarcane under elevated growth CO₂. *Plant Sci.* 171, 123-131.
- Vu, J.C.V. y Allen Jr., L.H. 2009. Growth at elevated CO₂ delays the adverse effects of drought stress on leaf photosynthesis of the C₄ sugarcane. *J Plant Physiol* 166, 107-116.
- Williams, L. J., y H. Abdi. 2010. Fisher's least significant difference (LSD) test. In: Encyclopedia of research design. Neil Slkind (Ed). CA. 6 pp.
- Yan, W.; L.A. Hunt; Q. Sheng y Z. Szlavnic 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.*, 40: 597-605.
- Yan, W. y Kang, M.S. 2003. GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan, W. y Tinker, N.A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and Applications. *Can. J. Plant Sci.* 86:623-645.
- Yin, X.; Sun, Z.; Struik, P.C.; Van der Putten, P.E.L.; Ieperen, W.V. y Harbinson, J. 2011. Using a biochemical C₄ photosynthesis model and combined gas exchange and chlorophyll fluorescence measurements to estimate bundle-sheath conductance of maize leaves differing in age and nitrogen content. *Plant Cell Environ.* 34, 2183-2199.

Lista de figuras

Figura 1.	Genealogía de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 93-4418	13
Figura 2.	Planta y partes de la planta de CC 93-4418	14
Figura 3.	Caracterización molecular de la variedad CC 93-4418 utilizando tres marcadores microsatélites: CV 29, CV 37 y CV 38	16
Figura 4.	Dinámica de la población de las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 en la estación experimental de Cenicaña	17
Figura 5.	Crecimiento de dos variedades de caña de azúcar cultivadas en dos zonas semisecas del valle del río Cauca.....	19
Figura 6.	Captura de la radiación solar y producción de biomasa de dos variedades de caña de azúcar cultivadas en dos zonas semisecas del valle del río Cauca	21
Figura 7.	Respuesta de la fotosíntesis A y eficiencia del uso del agua WUE de las variedades CC 85-92 (A y C) y CC 93-4418 (B y D) a la radiación fotosintéticamente activa PAR	25
Figura 8.	Acumulación de sacarosa expresada en porcentaje de caña (A) y gramos por tallo (B) en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418	28
Figura 9.	Dinámica de acumulación de sacarosa en función del tiempo y la posición del entrenudo, expresada en porcentaje y gramos por entrenudo.....	29
Figura 10.	Dinámica de acumulación en el tiempo del nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418	33
Figura 11.	Dinámica de acumulación en el tiempo del hierro (Fe), zinc (Zn) y boro (B) en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418	36
Figura 12.	Suerte de caña de azúcar con germinación uniforme	41
Figura 13.	Función de producción, variedad CC 93-4418, tres cortes	47
Figura 14.	Profundidad del nivel freático y TCHM, variedad CC 93-4418, plantilla y segunda soca	48
Figura 15.	Productividad de CC 93-4418 obtenida bajo diferentes profundidades de nivel freático.....	49
Figura 16.	Sistema de riego con caudal reducido, aplicación de agua al surco	50
Figura 17.	Registros hídricos. Hacienda Santa Fe, suerte 73, variedad CC 93-4418, plantilla	51
Figura 18.	Curva de maduración natural de la variedad CC 93-4418 junto con la variedad comercial CC 85-92.	57
Figura 19.	Sacarosa (% caña) de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 (plantillas) con aplicación de madurador y sin él en un suelo de la consociación Franciscano (Aquic Haplustolls) de la zona agroecológica 11H3 en el sur del valle del río Cauca.....	58

Figura 20. Biplot del análisis AMMI1 para la variable TSH vs IPCA1, evaluado en la prueba regional con variedades de las series 1993-1994 en cuatro ingenios y a través de dos cortes.....	66
Figura 21. Biplot de AMMI2 de los dos primeros componentes principales de la interacción Localidad x Variedad para la variable TSH, evaluado en la prueba regional con variedades de la serie 1993-1994 en dos ingenios y a través de dos cortes	67
Figura 22. Biplot para GGE de los dos primeros componentes principales de la interacción Localidad x Variedad para TSH, evaluado en la prueba regional con variedades de la serie 1993-1994 en cuatro ingenios y a través de dos cortes	68
Figura 23. Comportamiento de TCH en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418. Área cosechada en 2011: 2529 ha; 2012: 4270 ha; 2013: 9414 ha; 2014: 14786 ha	69
Figura 24. Comportamiento del rendimiento (%) en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418.	70
Figura 25. Rendimiento comercial de las variedades CC 85-92 y MZC 74-275 a partir de 1996.....	70
Figura 26. Comportamiento de TAH en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418.....	71
Figura 27. Distribución en zonas semisecas para las toneladas de azúcar por hectárea de la variedad CC 93-4418.....	71
Figura 28. Comportamiento de la edad de cosecha en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418	72
Figura 29. Comportamiento de TCHM en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418	73
Figura 30. Comportamiento de TAHM en zonas semisecas para tres escenarios: sin CC 93-4418, con CC 93-4418, solo CC 93-4418	73
Figura 31. Distribución en zonas semisecas de la utilidad adicional (expresada en TAH) de la variedad CC 93-4418.....	74
Figura 32. Diferencias en TCH entre CC 93-4418 y CC 85-92.....	75
Figura 33. Diferencias en rendimiento (%) de CC 93-4418 y CC 85-92.....	76
Figura 34. Diferencias en TAH entre CC 93-4418 y CC 85-92	76
Figura 35. Diferencias en utilidad para el ingenio de CC 93-4418 vs CC 85-92	77
Figura 36. Diferencias en utilidad para el cultivador de caña de CC 93-4418 vs CC 85-92	78
Figura 37. Curvas de maduración de las variedades CC 93-4418 (suerte 7) y CC 85-92 (suerte 5D) en la hacienda La Guaca, ingenio María Luisa....	79
Figura 38. Deterioro de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 luego de 144 horas de su corte en verde o con quema	80
Figura 39. Comportamiento de la sacarosa (% caña) en función del tiempo	82
Figura 40. Pérdidas de sacarosa porcentuales en función del tiempo	83

Figura 41. Seguimiento de dextranas y nitrógeno en las variedades CC 85-92 y CC 93-4418	84
Figura 42. Color y pureza en materiales de proceso (jugos) en prueba preliminar....	87
Figura 43. Color en materiales de proceso (jugos) en prueba de molienda	89
Figura 44. Distribución de corteros según rendimiento de la labor con el sistema de caña quemada. Variedades CC 93-4418 (suerte 7) y CC 85-92 (suerte 5D), hacienda La Guaca del ingenio María Luisa, octubre de 2006.....	91
Figura 45. Tonelaje de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 en el periodo 2009-2014 por número de corte	96
Figura 46. Diferencia en TCH de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 en el periodo 2009-2014 por número de corte	99
Figura 47. Rendimiento (%) de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 en el periodo 2009-2014 por número de corte	97
Figura 48. Toneladas de azúcar por hectárea (TAH) de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 en el periodo 2009-2014 por número de corte.....	98
Figura 49. Curvas de adopción de las variedades de caña de azúcar CC 93-4418 y CC 85-92 en la agroindustria azucarera colombiana	101

Lista de cuadros

Cuadro 1.	Respuesta de la fotosíntesis a la luz en dos variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca.....	24
Cuadro 2.	Nivel de radiación PAR donde se obtiene la máxima eficiencia en el uso del agua (WUE) y máximo valor de WUE de dos variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca.....	26
Cuadro 3.	Disminución potencial (%) en la concentración de sacarosa (%) en función de la edad de corte.....	31
Cuadro 4.	Extracción de nutrimentos necesaria para producir una tonelada de caña en las variedades CC 93-4418 y CC 85-92.....	33
Cuadro 5.	Contenido foliar de nutrimentos óptimo para de la variedad CC 93-4418 a los 3 y 6 meses después de la siembra o corte.....	39
Cuadro 6.	Cantidad de plantas entregadas entre el 2004 y el 2014 de las variedades CC 93-4418 (total: 400,503) y CC 85-92 (total: 1,128,095)..	41
Cuadro 7.	Distancias de siembra entre surcos utilizadas para la siembra de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (2013-2014).....	42
Cuadro 8.	Distancias de bandereo utilizadas para la siembra de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (2013-2014).....	42
Cuadro 9.	Efecto del manejo de la semilla en la germinación de las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, primer experimento	44
Cuadro 10.	Efecto del manejo de la semilla en la germinación de las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, segundo experimento	45
Cuadro 11.	Resultados de cosecha, ingenio Mayagüez, hacienda Santa Fe, variedad CC 93- 4418, plantilla. Edad de cosecha 13 meses	51
Cuadro 12.	Comportamiento de la CC 93-4418 en el seguimiento de roya café (RC) y roya naranja (RN) entre el 2007-2014 con respecto CC 85-92	53
Cuadro 13.	Incidencia de raquitismo de la soca, escaldadura de la hoja y virus de la hoja amarilla en la variedad CC 93-4418 en muestras evaluadas en el Servicio de Diagnóstico de Enfermedades entre 2003 y 2014	53
Cuadro 14.	Dosis de madurador por cada 100 toneladas de caña de azúcar para las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, valle del río Cauca	60
Cuadro 15.	Sitios en donde fue evaluada la prueba regional con variedades de las series 92, 93 y 94	62
Cuadro 16.	Análisis de varianza, porcentajes de la suma de cuadrados del total y significancia estadística para los caracteres sacarosa % caña, TCH y TSH, según los modelos AMMI y SREG-GGE, evaluado en la prueba regional con variedades de las series 1993-1994 en cuatro ingenios y a través de dos cortes	63

Cuadro 17. Medias, valores mínimos y máximos, pruebas de significancia de Dunnett y diferencia mínima significativa para tres caracteres relacionados con la productividad de caña de azúcar, evaluadas en la prueba regional con variedades de las series 92-94 en cuatro ingenios y a través de dos cortes	64
Cuadro 18. Calidad de los jugos de primera extracción de las variedades CC 93-4418 (plantilla) y CC 85-92 (segunda soca) evaluada en el ingenio María Luisa, zona agroecológica 6H1	81
Cuadro 19. Análisis de jugos en Laboratorio de caña	85
Cuadro 20. Parámetros de molienda	86
Cuadro 21. Características del bagazo final	86
Cuadro 22. Caracterización de materiales de proceso (jugos)	88
Cuadro 23. Cálculo de rendimiento y TAH	89
Cuadro 24. Eficiencia en el transporte de las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 cosechadas con quema y de forma manual en la hacienda La Guaca, del ingenio María Luisa, zona agroecológica 6H1	92
Cuadro 25. Rendimiento del corte por modalidad y variedad	93
Cuadro 26. Rendimiento del corte por modalidad, variedad y tipo de descogolle.....	93
Cuadro 27. Porcentaje de materia extraña por modalidad, variedad y tipo de descogolle	94
Cuadro 28. Diferencia entre CC 93-4418 y CC 85-92 en relación con las toneladas de caña transportadas.....	94
Cuadro 29. Toneladas de caña por hectárea por variedad y corte	97
Cuadro 30. Principales variedades de caña de azúcar cultivadas y cosechadas por la industria azucarera colombiana en el periodo 2010-2015, con su respectiva productividad promedio.....	99
Cuadro 31. Ventaja en productividad de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) en relación con el factor tierra de la variedad CC 93-4418 sobre la CC 85-92. Promedio anual de la industria 2010-2015. Valle del río Cauca	100

Publicación Cenicaña®

Producción editorial

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial

Victoria Carrillo C.

Corrección de estilo

Verónica Figueroa M.

Diagramación

Váziko. Cali, Colombia.

Fotografías

Banco de imágenes, Cenicaña.

Impresión

Alfagraphics EU. Cali, Colombia.

Advertencia: La mención de productos comerciales en las publicaciones de Cenicaña tiene solamente el propósito de ilustrar a los lectores acerca de las pruebas realizadas y en ningún caso compromete al Centro de Investigación con los fabricantes y sus distribuidores, quienes no están autorizados para usar los resultados con fines promocionales ni publicitarios.



Confía en 4-72,
el servicio de envíos
de Colombia

Línea de atención al cliente:
(57 - 1) 472 2000 en Bogotá
01 8000 111 210 a nivel Nacional

.....
www.4-72.com.co

Remite/Cenicaña. Calle 58N No. 3BN-110 Cali, Colombia

