Serie Técnica No. 40

cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia

Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 01-1940

Cali, Colombia
Mayo de 2018

40 años
1977-2017

cenicaña

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, Cenicaña, es una institución privada, sin ánimo de lucro, que se financia con aportes directos de trece ingenios azucareros del valle del río Cauca y sus proveedores de caña. Los pilares de su gestión son: azúcar, energía, sostenibilidad y diversificación. A través de la investigación y la prestación de servicios especializados, el Centro apoya la gestión de conocimiento y la innovación tecnológica en la agroindustria colombiana. Fundado en 1977 por iniciativa de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, Asocaña.

Misión

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 el mejoramiento socioeconómico y la conservación ambiental de las zonas productoras de caña de azúcar.

Visión

Ser un Centro de excelencia en investigación e innovación a nivel mundial, generador de tecnologías que hagan competitivo el sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia, reconocido por los donantes como una inversión rentable, por su personal como un sitio ideal para trabajar y desarrollarse, por la comunidad científica como un centro creativo y de calidad; y por la sociedad, como una entidad valiosa.

Cenicaña. 2018.

Serie Técnica No. 40

cenicaña
Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia

Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 01-1940

Editor:
Carlos Arturo Viveros Valens, Ph. D.

Cali, Colombia
Mayo de 2018

Viveros Valens, Carlos Arturo

Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 01-1940 / Carlos Arturo Viveros Valens (Ed.). – Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2018.

162 p.; 23 cm. (Serie Técnica No. 40).

ISBN: 978-958-8449-22-7
ISSN: 0120-5846

Incluye referencias bibliográficas

1. Caña de azúcar. 2. CC 01-1940. 3. Variedades. 4. Genealogía. 5. Morfología. 6. Caracterización molecular. 7. Fisiología. 8. Nutrición. 9. Semilla. 10. Semilleros. 11. Germinación. 12. Respuesta al agua. 13. Productividad. 14. Control de malezas. 15. Enfermedades. 16. Control de plagas. 17. Maduración. 18. Ambiente húmedo. 19. Agricultura Específica por Sitio. 20. Pérdidas de sacarosa. 21. Transporte. 22. Ingenio La Cabaña

I. Título.

633.6 CDD 23 ed.

V857

Copyright © 2018 por Cenicaña®

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

Dirección postal: Calle 58 norte 3BN-110. Cali, Colombia.
Estación Experimental: vía Cali - Florida, km 26.
San Antonio de los Caballeros, Valle del Cauca.

www.cenicana.org
buzon@cenicana.org

Producción editorial: Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología.
Carátula: Alcira Arias Villegas. Coordinación de producción: Victoria Carrillo C.
Corrección y diagramación: El Bando Creativo. Impresión: Ingeniería Gráfica. Cali.

Presentación

Este compendio de las características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 01-1940 es el resultado de un trabajo conjunto entre Cenicaña, los técnicos de los ingenios que producen azúcar, etanol y energía eléctrica y los cultivadores de caña de azúcar.

La variedad CC 01-1940, seleccionada para zonas húmedas, es un producto de la investigación liderada por el Programa de Variedades de Cenicaña, con la participación de los demás programas y servicios del Centro de Investigación. A la fecha, la variedad se encuentra sembrada en aproximadamente 80,000 hectáreas. La productividad promedio de CC 01-1940 en los últimos cinco años sobrepasa en 2 toneladas de azúcar por hectárea los resultados de la variedad CC 85-92.

La información sobre ubicación de la variedad, manejo agronómico, cosecha y proceso fabril es fundamental para obtener un adecuado balance entre el contenido de sacarosa y la producción de caña, minimizando las pérdidas y asegurando la recuperación de la sacarosa. Obtener los beneficios del potencial genético de la variedad es posible con la siembra de semilla de buena calidad, el monitoreo de plagas y enfermedades y el manejo agronómico adecuado a las condiciones del sitio y el cultivo. Los resultados de la investigación y su validación contribuyen a ello.

Su siembra indiscriminada no es deseable por los riesgos fitosanitarios que conlleva la siembra masiva de una sola variedad. Para las zonas semisecas hay opciones varietales que combinan buena producción de caña y sacarosa y compiten en productividad y rentabilidad con la CC 01-1940 y la CC 85-92. Algunas están a escala comercial en pequeñas áreas y otras, en la fase final del proceso de selección. Cenicaña comunica los avances en sus publicaciones, foros y comités.

Con la información contenida en esta Serie Técnica, esperamos que la variedad CC 01-1940 continúe siendo un desarrollo tecnológico con beneficios e impacto económico para la agroindustria de la caña de azúcar en Colombia.

Álvaro Amaya Estévez, Ph. D.
Director general, Cenicaña

Contenido

Página

Resumen 7

Introducción 9
Jorge I. Victoria K.

Genealogía 11
Carlos Arturo Viveros Valens

Morfología 13
Carlos Arturo Viveros Valens

Caracterización molecular 15
Jershon López Gerena, Claudia Marcela Franco Arango

Fisiología 17
Luis Fernando Gómez Gil, Miguel Ángel López Murcia,
Javier Alí Carbonell González

Nutrición 31
Fernando Muñoz Arboleda

Germinación 41
Fernando Villegas Trujillo

Requerimiento de agua 46
Édgar Hincapié Gómez

Control de arvenses 50
Luis Eduardo Cuervo Lugo

Manejo de enfermedades 51
Juan Carlos Ángel Sánchez

Manejo de plagas 53
Germán Andrés Vargas Orozco

Maduración 60
Fernando Villegas Trujillo

Evaluación de la estabilidad de la variedad CC 01-1940 a través de pruebas regionales en ambientes húmedos 75
Fredy Antonio Salazar Villareal, Luis Orlando López Zúñiga,
Jorge Ignacio Victoria Kafure, Hernando Rangel Jiménez

Comportamiento de la variedad CC 01-1940 en áreas de validación de tecnología con enfoque de AEPS® **91**
Camilo H. Isaacs Echeverri, María Claudia Pizarro Esguerra, Carlos Arturo Moreno Gil

Comportamiento comercial de la variedad CC 01-1940 frente a la CC 85-92 a través de los cortes **97**
Carlos Arturo Viveros Valens, Carlos Arturo Moreno Gil

Densidad de carga para el transporte de la caña de azúcar **107**
Alejandro Estrada Bedón, Héctor Alberto Chica Ramírez

Pérdidas de sacarosa entre corte y molienda **110**
Nicolás Javier Gil Zapata,Tatiana Sánchez Motta, Andrés Felipe Ospina Patiño, Julián David Montes Posso, Juan Gabriel Rodríguez Sarasty

Impacto de la adopción comercial de CC 01-1940 en el ingenio La Cabaña **128**
Jairo Valencia Arcila, Gustavo Medina Vargas, Wilfer López Arbeláez

Impacto de la adopción de la variedad CC 01-1940 en la productividad de la agroindustria en ambientes húmedos **142**
Claudia Posada Contreras, Carlos Arturo Moreno Gil

Agradecimientos **151**

Referencias bibliográficas **152**

Lista de figuras **154**

Lista de cuadros **159**

Resumen

La variedad CC 01-1940 fue el resultado del cruzamiento entre CCSP 89-1997 y CC 91-1583. Se presenta la descripción morfológica de la variedad que permite al cultivador identificarla en el campo. En las pruebas regionales de la zona humeda, la variedad CC 01-1940 expresó el mayor potencial de producción de sacarosa con tonelajes iguales y en algunos casos superiores al testigo CC 85-92. En campo ha demostrado ser una variedad de mayor población, altura, con mayores tasas de crecimiento y al final un mayor tonelaje de caña por hectárea (TCH). Aunque la variedad CC 85-92 mostró un patrón de acumulación de sacarosa más precoz que la CC 01-1940, la concentración de sacarosa al momento de la cosecha fue similar entre las variedades. Adicionalmente, se presentan aspectos fundamentales para el manejo de la variedad, como la nutrición y el riego, y se dan criterios para el manejo de las plagas. La variedad CC 01-1940 es resistente a las enfermedades principales. No se debe cosechar a edades inferiores a los 12.5 meses y cuando se le aplica madurador debe ser en dosis superiores a las que se aplican en CC 85-92, puesto que la CC 01-1940 es más resistente al madurador y generalmente presenta mayores producciones de caña. En relación con los indicadores fabriles, en la variedad cosechada en zonas húmedas se evidencian diferencias mínimas en los componentes de la fibra en caña y valores de color inferiores con respecto a la CC 85-92; los contenidos de fosfatos han sido superiores al valor mínimo requerido. Se dan recomendaciones en el proceso de molienda para la generación de vapor y para la operación en calderas con bagazo de la variedad CC 01-1940. Los resultados comerciales permiten establecer que hasta el séptimo corte la variedad es igual o superior a CC 85-92 en TCH y porcentaje de rendimiento en azúcar, así como representa mayor rentabilidad tanto para el Ingenio como para el proveedor de caña. El análisis de información comercial de CC 01-1940 en el ingenio La Cabaña muestra su impacto positivo en las zonas húmedas del ingenio, donde se incrementó la productividad superando en promedio en casi 18 TCH a la CC 85-92.

Palabras clave: caña de azúcar, mejoramiento vegetal, variedades, zona húmeda.

Introducción

Jorge I. Victoria K.[1]

Desde el año 2000, Cenicaña y su Programa de Variedades realizan el desarrollo de variedades para la agroindustria de la caña de Colombia con el enfoque de la Agricultura Específica por Sitio, AEPS®. Para lograr los objetivos de mejoramiento varietal, en la agroindustria se han identificado tres ambientes donde se llevan a cabo procesos específicos de selección y desarrollo de variedades: ambiente semiseco, ambiente húmedo y ambiente de piedemonte. A partir de la caracterización y evaluación del Banco de germoplasma de Cenicaña y en un proceso dinámico, en cada uno de los tres ambientes se selecciona un grupo élite de variedades que sirve de base para la programación y realización de los cruzamientos, buscando siempre el complemento genético entre las variedades que intervienen en un cruzamiento dado.

Con esta estrategia, en 1999 se efectuó en Cenicaña el cruzamiento entre las variedades CCSP 89-1997 y CC 91-1583, cuya progenie se sembró en el ambiente húmedo de la hacienda Cachimbalito en Incauca. En 2001 se efectuó la primera selección de individuos en comparación con los testigos que se tenían en la experimentación del Estado I y se seleccionó un individuo que fue nombrado como Cenicaña Colombia (CC) 01-1940. A partir de ese momento la CC 01-1940 participó y se destacó siempre frente al testigo CC 85-92, en todos los experimentos de los distintos estados de selección y en la prueba regional del ambiente húmedo. En la prueba regional, la variedad CC 01-1940 superó en toneladas de sacarosa por hectárea (TSH) a la CC 85-92, al producir entre 1.8% y 31.0% más TSH.

Con base en los resultados de la prueba regional en ambientes húmedos, en 2010 el ingenio La Cabaña inició el proceso de multiplicación y evaluación a escala comercial de la variedad CC 01-1940, iniciativa que fue replicada por los demás ingenios en distintas zonas de la agroindustria. De manera paralela, Cenicaña continuó los estudios y evaluaciones sobre su manejo agronómico y su comportamiento en los procesos fabriles.

---

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., exdirector Programa de Variedades Cenicaña, joivika@gmail.com

En esta Serie Técnica se presentan los resultados sobresalientes de las investigaciones realizadas con la variedad CC 01-1940, entre ellos los relacionados con su obtención, genealogía, morfología, caracterización molecular, aspectos fisiológicos, nutrición, requerimientos de agua, comportamiento sanitario, maduración, comportamiento regional en pruebas experimentales y validación de los resultados experimentales en diversos sitios. Se incluye también un análisis de la variedad cosechada de forma manual y mecánica, aspectos del transporte, resultados del proceso fabril, así como un análisis de su impacto comercial en los ambientes húmedos del ingenio La Cabaña en los últimos siete años, de 2010 a 2017.

De acuerdo con los resultados, se destaca que la variedad CC 01-1940 presenta sus mejores resultados en ambiente húmedo –para el cual fue desarrollada– en los indicadores de toneladas de caña por hectárea, sacarosa (% caña) y porcentaje de rendimiento en azúcar, todos ellos superiores a los obtenidos con la variedad CC 85-92.

Genealogía

Carlos Arturo Viveros Valens[1]

La genealogía de una variedad de caña de azúcar es el conjunto de ascendientes y progenitores que muestra de dónde proviene la variedad. El origen de la variedad CC 01-1940 fue el cruzamiento entre CCSP 89-1997 y CC 91-1583. La madre fue la variedad CCSP 89-1997, la cual Cenicaña obtuvo a partir de la semilla de un cruzamiento donado por Copersucar; y como padre se usó la variedad CC 91-1583. Ambas variedades fueron sometidas a tratamiento de fotoperíodo para inducir su floración, debido a que estas variedades no han florecido naturalmente en el valle del río Cauca. El cruzamiento identificado con el #414 fue realizado en 1999 en la Estación Experimental de Cenicaña, en San Antonio de los Caballeros (Florida, Valle del Cauca). La progenie de ese cruzamiento fue inoculada con el virus del mosaico común a los 30 días y con roya café a los dos meses en el estado de plántulas en terraza, antes de ser llevadas al campo. Las plantas infectadas por cualquiera de las dos enfermedades fueron descartadas, así como las que mostraron poco vigor; al final, 103 plantas se trasplantaron en el campo, en la hacienda Cachimbalito de Incauca.

Entre los ancestros maternos de CC 01-1940 se encuentran variedades brasileras (SP) las cuales han sido seleccionadas en ese país por adaptarse a condiciones difíciles, dadas las características de algunas zonas productoras en donde no hay riego. Por el lado de los ancestros maternos, se encuentra la Y1, Co 775 y POJ 2878, variedades de buena adaptación a las zonas húmedas. En sus ancestros se encuentran genotipos tanto de *Saccharum officinarum* como de *Saccharum spontaneum*.

La genealogía completa de CC 01-1940 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 Geplacea (1984). La **Figura 1** muestra esta genealogía.

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., fitomejorador Cenicaña, caviveros@cenicana.org

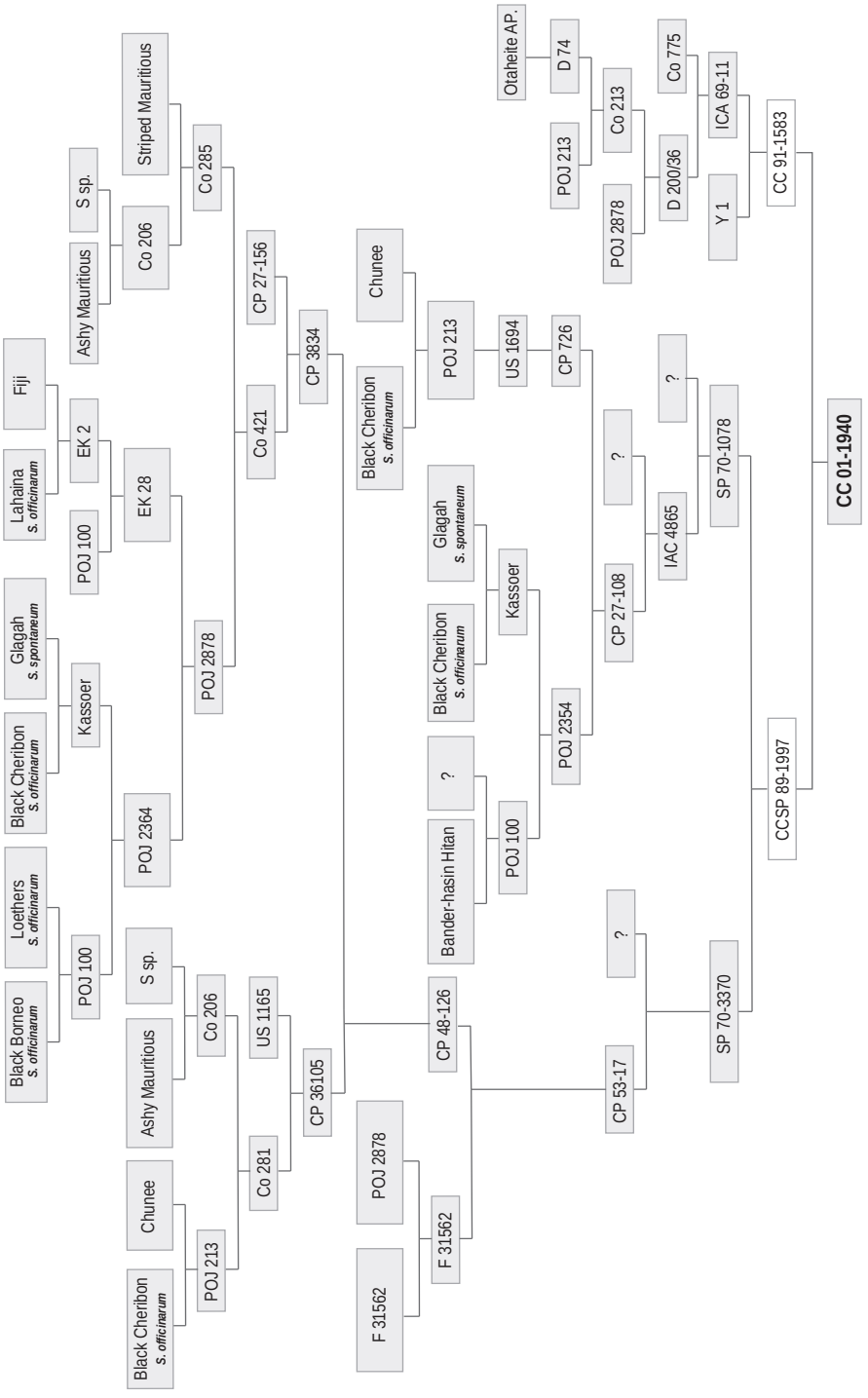


Figura 1. Genealogía de la variedad CC 01-1940.

Morfología

Carlos Arturo Viveros Valens[1]

La descripción morfológica de la variedad facilita su identificación al cultivador en el campo y facilita el establecimiento de semilleros de alta pureza varietal. Los descriptores utilizados en CC 01-1940 se encuentran publicados en el *Catálogo de Variedades de caña de azúcar* publicado por Cenicaña (Victoria *et al*., 2013).

La variedad CC 01-1940 posee un tallo de porte alto (**Figura 2A**), erecto, y entrenudos en zigzag suave (**Figura 2B**). El entrenudo es cilíndrico, corto, con una longitud entre 10 cm y 13 cm y un diámetro entre 35 mm y 43 mm. El tallo es verde amarillento cuando no está expuesto al sol y amarillo verdoso cuando ha recibido los rayos solares. No tiene canal de yema y el tallo tiene mucha cera, lo que en condiciones de déficit de humedad y en condiciones tropicales con altas temperaturas contribuye al ahorro de agua al no permitir la pérdida por transpiración por efecto del calor (Viveros, 2011).

El nudo muestra un anillo de crecimiento de color verde amarillo, ligeramente pronunciado, de 3.3 mm de ancho (**Figura 2C**). No presenta enraizamiento aéreo. La yema es obovada y siempre sobrepasa el anillo de crecimiento. La hoja de esta variedad es mediana, ancha y curvada en la base. El deshoje es fácil. Su cuello es normal, de color verde amarillo; la aurícula es inclinada, pequeña y simétrica. La yagua es de color amarillo con vetas moradas (**Figura 2D**) y con poca pelusa.

Entre los caracteres agronómicos sobresalientes de esta variedad está el de tener tallos erectos con un crecimiento vigoroso, un macollamiento entre 9 y 13 tallos por cepa. Su floración es nula o escasa.

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., fitomejorador Cenicaña, caviveros@cenicana.org

Figura 2. Planta y partes de la planta de CC 01-1940. A: planta completa; B, nudos y entrenudos; C, nudo mostrando la yema y D, parte del cogollo mostrando el cuello visible.

Caracterización molecular

Jershon López Gerena[1], Claudia Marcela Franco Arango[2]

La caracterización molecular de las variedades de caña utilizando marcadores moleculares microsatélites ha permitido asignar una “huella genética” o perfil genético a cada una de las variedades que componen el Banco de germoplasma de Cenicaña. Esta caracterización facilita la diferenciación de variedades de una manera única y precisa, cuando no es posible por medio de la observación directa o con base en descriptores morfológicos. El uso de microsatélites permite hacer un seguimiento de la historia familiar y el grado de parentesco entre variedades, facilitando la determinación de su variabilidad genética. Adicionalmente, la huella genética de las variedades de caña de azúcar es actualmente utilizada para el registro y protección de los recursos genéticos desarrollados por Cenicaña.

En las etapas iniciales del desarrollo del cultivo es difícil distinguir una variedad de otra solo con la ayuda de descriptores morfológicos. Una herramienta de uso actual para caracterizar variedades o genotipos de caña son los marcadores moleculares, los cuales permiten generar huellas genéticas únicas para cada individuo de una población o un Banco de germoplasma y facilitan su identificación de una manera más precisa.

Como parte de los documentos presentados al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para adquirir los derechos de obtentor y protección de las variedades CC, Cenicaña utiliza los marcadores morfológicos y la huella genética para la identificación molecular de variedades junto con las características agronómicas. 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 01-1940 se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de Cenicaña utilizando tres marcadores microsatélites denominados CV 29, CV 37 y CV 38. La **Figura 3** muestra las 28

1. Biólogo, Ph. D., biotecnólogo Cenicaña, jlopez@cenicana.org
2. Bióloga, biotecnóloga Cenicaña, cmfranco@cenicana.org

bandas polimórficas que distinguen la variedad CC 01-1940, huella genética obtenida a partir de los tres marcadores microsatélites mencionados.

Utilizando los mismos tres microsatélites se generó la huella genética de todas las variedades que componen el Banco de germoplasma de Cenicaña. Los resultados de este estudio han permitido entender las relaciones filiales que existen entre la variedad CC 01-1940 y otras variedades del Banco de germoplasma. Adicionalmente, la huella genética se utiliza en pruebas de paternidad donde se quiere conocer el verdadero padre de un policruzamiento, cuando intervienen varios padres y una sola madre, como fue el caso para la variedad CC 01-1940.

Los resultados obtenidos a partir de la huella molecular concluyeron que CC 01-1940 fue obtenida del cruzamiento entre CCSP 89-1997 (madre) y CC 91-1583 (padre).

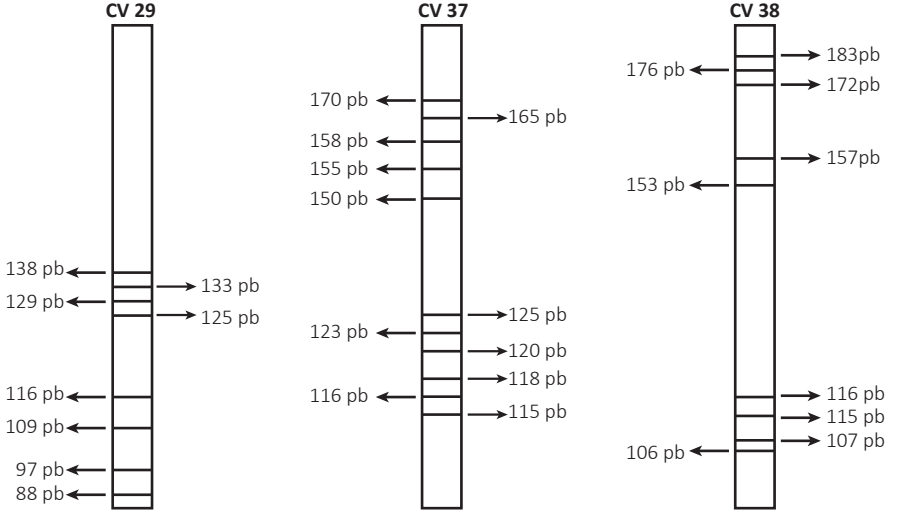


Figura 3. Huella genética de la variedad CC 01-1940 obtenida a partir de los tres marcadores microsatélites CV 29, CV 37 y CV 38.

Fisiología

Luis Fernando Gómez Gil[1], Miguel Ángel López Murcia[2],
Javier Alí Carbonell González[3]

La caña de azúcar es, fisiológicamente, una planta C4 con alto potencial para producir biomasa y una buena respuesta a elevados niveles de radiación, sin exhibir fotosaturación (Hatch, 1999; Taiz y Zieger, 2006).

Formación de la producción

Esta información proviene de un experimento adelantado en la Estación Experimental San Antonio de los Caballeros de Cenicaña, zonas agroecológicas 11H1 (suelo *Vertic Haplustoll*, familia textural francosa-fina) y 23H1 (suelo *Entic Haplusters*, familia textural arcillosa sobre arenosa).

Crecimiento

La dinámica poblacional de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 se muestra en la **Figura 4**, donde el patrón entre variedades cambió a partir del primer mes después de la emergencia (MDE). Durante los primeros tres meses, ambas variedades presentaron un aumento de los brotes, especialmente, la CC 01-1940, resultado que genera un aumento en la captura de la radiación. Después de este período de macollamiento y multiplicación activa de la población, se observa una autorregulación como resultado de la competencia por agua, luz, nutrientes y espacio.

La variedad CC 01-1940, comparada con la CC 85-92, presentó una mayor habilidad de macollamiento, situación evidente en los primeros 3 meses del cultivo. En esta época, la CC 01-1940 registró una población cercana a los 80,000 tallos/ha, en tanto que la población de CC 85-92 fue alrededor de 65,000 tallos/ha (Figura 4).

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., fisiólogo Cenicaña, lfgomez@cenicana.org
2. Ingeniero Agrónomo, M. Sc., exfisiólogo Cenicaña
3. Ingeniero Agrícola, M. Sc., director Programa de Agronomía Cenicaña, jacarbonell@cenicana.org

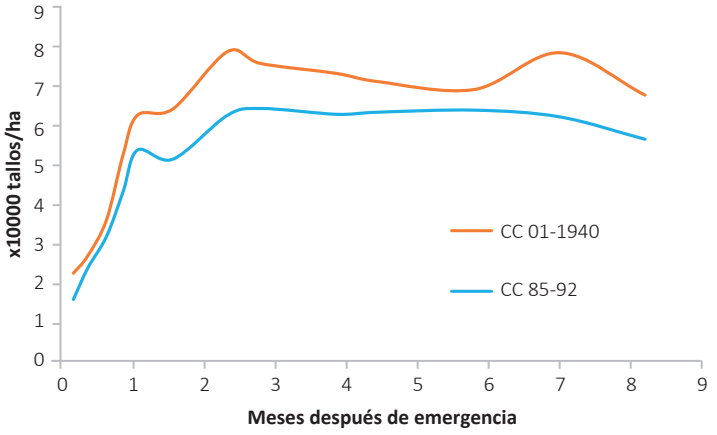


Figura 4. Dinámica de la población de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en la Estación Experimental de Cenicaña, zona agroecológica 11H1.

Entre 2 y 6 MDE la población de CC 85-92 se redujo a 63,000 tallos/ha, mientras que la de CC 01-1940 disminuyó hasta 70,000. A partir de este período hubo un incremento en la formación de brotes, de modo que la CC 01-1940 llegó en el séptimo mes a 80,000 tallos/ha y la CC 85-92 a 63,000; luego de este mes la CC 01-1940 presentó volcamiento.

La producción de caña de azúcar se basa en el arreglo de los diferentes componentes de la producción. La formación continua de cada tallo y su interacción con los demás tallos dentro de la comunidad dan origen a relaciones que determinan la productividad. Aunque la dinámica poblacional es un factor controladoprincipalmente por la variedad, el manejo agronómico la afecta significativamente.

En la formación del tallo como individuo es importante considerar el cambio continuo en el número de entrenudos, lo cual a su vez implica una dinámica de aparición de hojas verdes e Índice de Área Foliar (*IAF*: m^2 de hojas funcionales por m^2 de suelo cultivado), controlada principalmente por la tasa de aparición de hojas y la senescencia foliar. Al final del período de crecimiento y desarrollo, las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 presentaron en total 26 entrenudos (**Figura 5A**), para una tasa de aparición de 1.96 entrenudos/mes. La aparición de entrenudos por mes fue crítica entre los 7 y 8 MDE para ambas variedades, con valores absolutos de 2.5 para CC 01-1940 y 2.8 para CC 85-92.

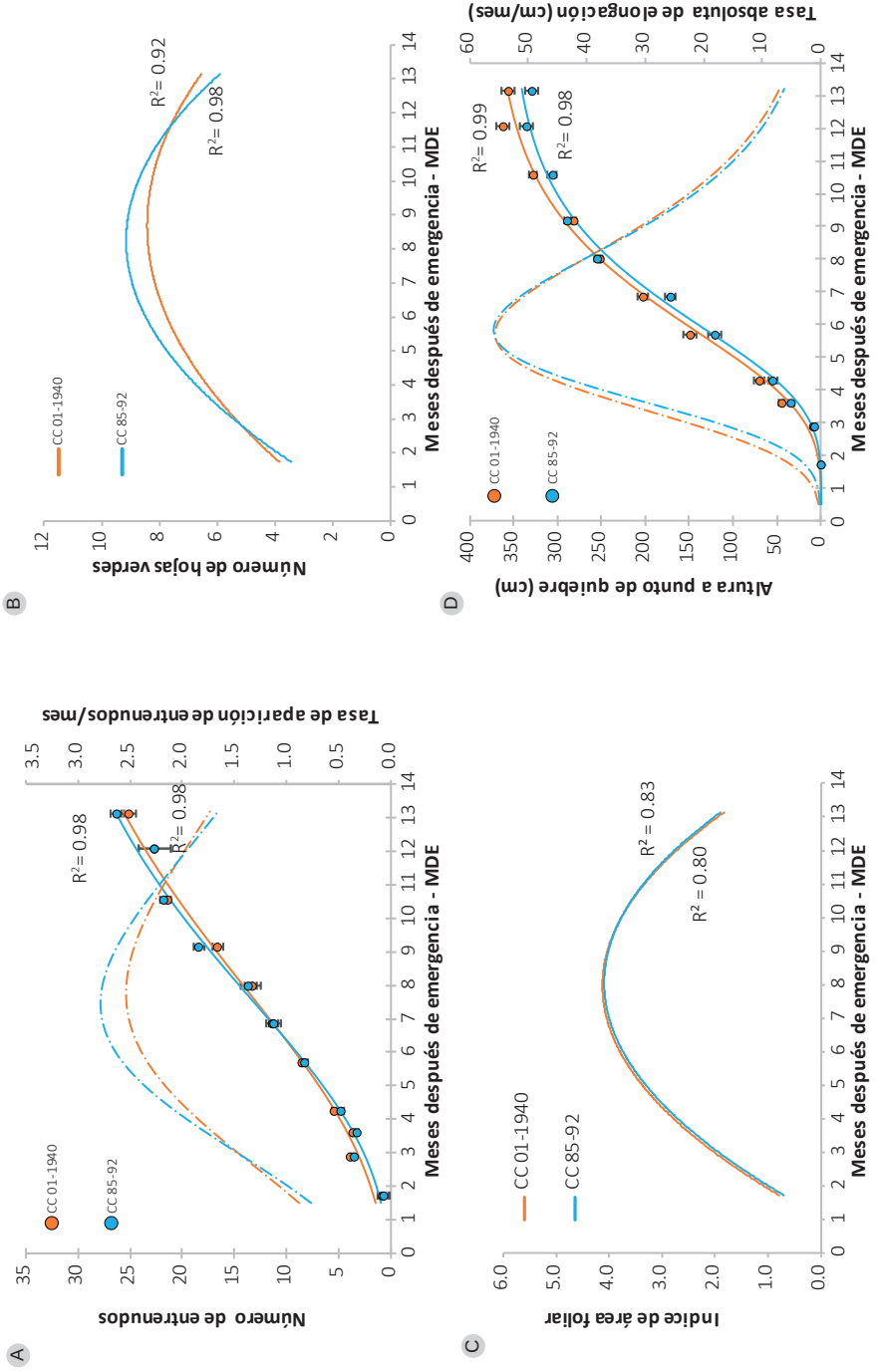


Figura 5. Número de entrenudos (A), número de hojas verdes (B), Índice de Área Foliar - *IAF* (C) y altura a punto de quiebre (D) de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.

La aparición de hojas verdes (**Figura 5B**) presentó una relación estrecha con la aparición de entrenudos. Desde la emergencia y hasta los 7 MDE, el número de hojas verdes del dosel presenta una tasa de aumento continua. Entre los 7 y 9 MDE, aproximadamente, el tallo y, por consiguiente, el dosel alcanzaron el mayor número de hojas verdes, con un valor de 8 hojas en CC 01-1940 y 9 en CC 85-92. La variedad CC 01-1940 sobresale por su capacidad de mantener sus hojas verdes durante mayor tiempo, con bajas tasas de senescencia.

Al igual que en el número de hojas verdes, el *IAF* presentó incrementos continuos entre la emergencia y los 7 MDE. Posteriormente, y hasta los 9 MDE, alcanzó sus mayores valores. Para esta época, el valor **máximo** de *IAF* conseguido por ambas variedades fue de 4.0 (**Figura 5C**).

El crecimiento del tallo, junto con su ganancia en peso y sacarosa asociada, es una variable con profunda influencia sobre el rendimiento. En la **Figura 5D** se presenta el comportamiento de la altura del tallo al punto de quiebre y su tasa de crecimiento absoluta. La variedad más alta fue CC 01-1940 con 3.6 m; CC 85-92 alcanzó los 3.4 m. La época de mayor elongación se presentó entre los 5-6 MDE, con tasas absolutas de crecimiento de 55 cm/mes para ambas variedades.

Captura de la radiación, producción de biomasa y tonelaje

La producción de biomasa de los cultivos se correlaciona positivamente con la tasa de interceptación de la radiación solar por parte del dosel. La radiación solar entre 400-700 nm (Radiación Fotosintéticamente Activa, *RFA*) se utiliza en la fijación o reducción del carbono; esto es, transformar el CO_2 a carbohidratos estructurales y de reserva a través de procesos fisiológicos fundamentales como fotosíntesis, respiración y transpiración.

En la **Figura 6A** se muestra la dinámica de interceptación de la *RFA* por el dosel. La fracción de la radiación atrapada por el cultivo entre 2 y 3 MDE muestra cambios significativos asociados al aumento del *IAF*. En este período, las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 pasaron de niveles de absorción de 10% a valores alrededor de 70%, en promedio.

La masa seca total del cultivo es el resultado de los procesos de fijación y pérdida de carbono (fotosíntesis y respiración), captura de radiación solar, absorción de nutrientes y manejo agronómico. La producción de biomasa es continua a lo largo del tiempo, caracterizada por altas tasas de crecimiento entre 5 y 8 MDE.

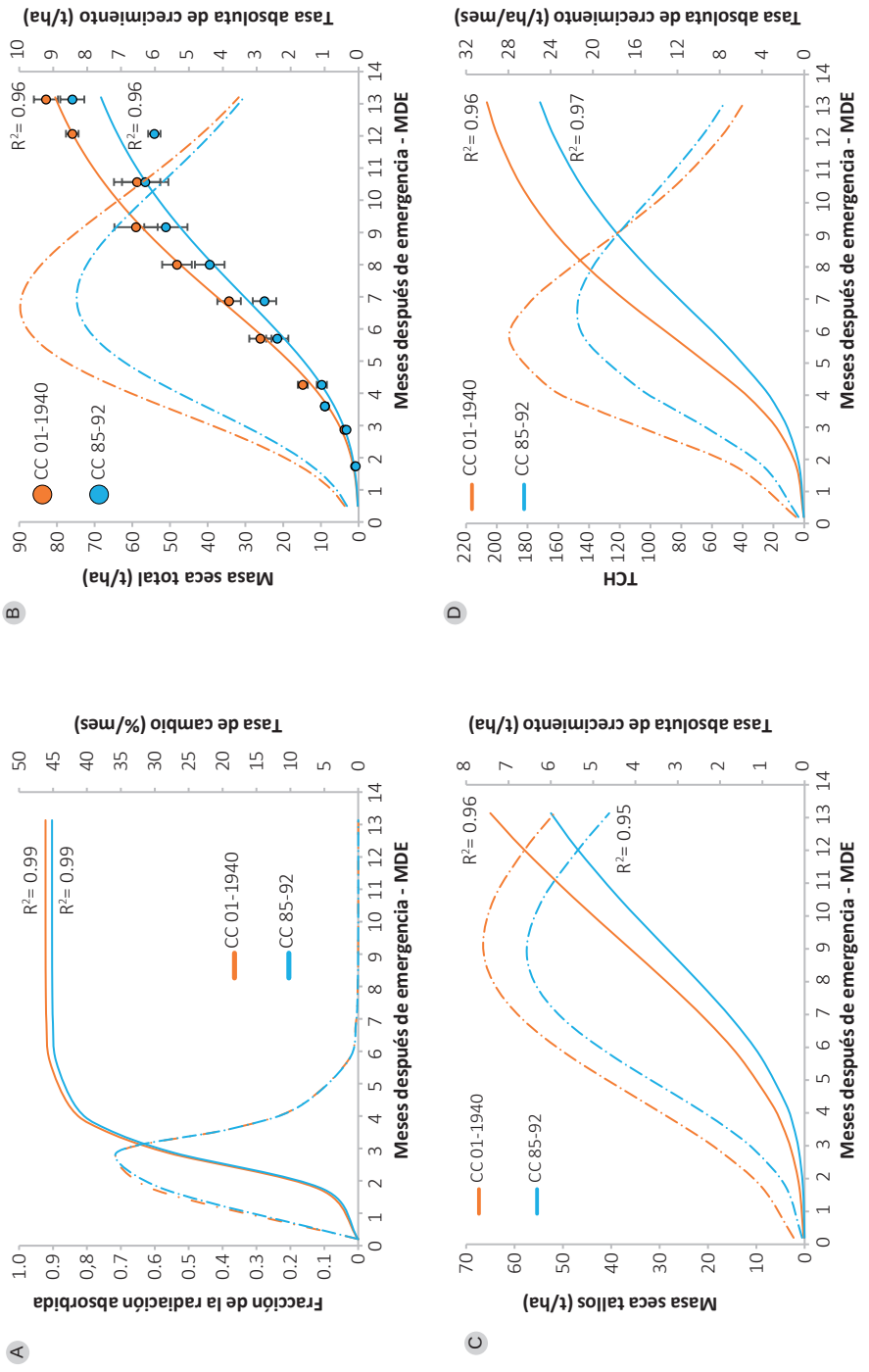


Figura 6. Fracción de la luz interceptada (A), masa seca total (B), masa seca del tallo (C) y toneladas de caña por hectárea (D) de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940.

La variedad CC 01-1940 presentó mayor producción de biomasa seca total que la CC 85-92, superándola en cerca de 12 t/ha, así como la tasa absoluta de crecimiento, la cual se hizo máxima entre 6 y 7 MDE. La diferencia en biomasa entre las variedades empezó a ser visible después de los 3 MDE y, en términos absolutos, casi desde el inicio del ciclo (**Figura 6B**).

La producción de masa seca total de un material genético es una ventaja comparativa, siempre y cuando una alta proporción de ella se acumule en los tallos (alto Índice de Cosecha, *IC*) (**Figura 6C**). Para la agroindustria, la masa seca del tallo es fundamental, pues es el órgano económicamente importante y determina tres productos de interés: sacarosa, no sacarosa y fibra. Al igual que para la materia seca total, la variedad CC 01-1940 presentó mayor habilidad para producir masa seca y acumularla en el tallo en comparación con CC 85-92. La época de mayor tasa de ganancia de masa seca por tallo se observó entre los 8 y 9 MDE, con valores máximos de 6.6 t/ha-mes para CC 85-92 y 7.6 t/ha-mes para la CC 01-1940.

Dada la cantidad de agua que contienen los tallos al momento de la cosecha, su masa fresca (TCH) no debe considerarse una variable absoluta; sin embargo, desde el punto de vista económico, el TCH es una variable con la que la agroindustria mide su productividad y rendimiento. La CC 01-1940 mostró la mayor producción de TCH y superó ampliamente a la CC 85-92. La época de mayor producción de caña nueva para la CC 01-1940 se presentó a los 6 MDE con un valor de 28 t/ha-mes, mientras para la CC 85-92 fue a los 6 MDE con un valor máximo de 21 t/ha-mes.

Fotosíntesis

En el **Cuadro 1** se presentan los valores estimados de los parámetros: fotosíntesis máxima (*Am*), respiración oscura (*Rd*) y rendimiento cuántico (ε) que fueron obtenidos por la aplicación del modelo de Goudriaan (1986) para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.

La *Am* corresponde a la fotosíntesis máxima posible; sin embargo, según el modelo usado, este valor se presentó por fuera del rango de *RFA* máximo alcanzable en la tierra, que es de 2300 $\mu moles_{(fotones)}$ m^{-2} s^{-1}. Así, el valor de *Am* se ajustó a este valor (**Cuadro 2**). Este comportamiento reflejó la ausencia de saturación fotosintética de la hoja de caña a los niveles de *RFA* máximos alcanzables, característica propia de plantas C4, como es el caso de la caña.

Cuadro 1. Valores estimados de fotosíntesis máxima (*Am),* respiración oscura *(Rd*) y rendimiento cuántico (*ε*) de las variedades comerciales de caña CC 01-1940 y CC-85-92 en condiciones semisecas del valle del río Cauca. LI-LS= límites inferior y superior del intervalo de confianza al 95%. Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas para un nivel de significancia P=0.05 (Tukey).

Variedad	*Am* [µmoles$_{(CO2)}$ m^{-2} s^{-1}]			*Rd* [µmoles$_{(CO2)}$ m^{-2} s^{-1}]			*ε* (µmoles$_{(CO2)}$/µmoles$_{(RFA)}$)		
	Estimado	LI	LS	Estimado	LI	LS	Estimado	LI	LS
CC 01-1940	35.0 a	32.0	38.0	3.3 b	2.5	4.2	0.039 a	0.035	0.043
CC 85-92	39.8 a	37.2	42.4	5.0 a	4.3	5.7	0.043 a	0.040	0.047

Cuadro 2. Puntos de compensación (*PCL*) y saturación de luz (*PSL*), fotosíntesis a 2300 µmoles$_{(fotones)}$ m^{-2} s^{-1} (A_{2300}) y relación entre respiración y fotosíntesis a 2300 µmoles$_{(fotones)}$ m^{-2} s^{-1} (Rd/A_{2300}) para las variedades de caña CC 01-1940 y CC 85-92.

Variedad	*PCL* [µmoles$_{(fotones)}$ m^{-2} s^{-1}]	*PSL* [µmoles$_{(fotones)}$ m^{-2} s^{-1}]	A_{2300} [µmoles$_{(CO2)}$ m^{-2} s^{-1}]	Rd/A_{2300}
CC 01-1940	89.6	>2300	31.3	0.107
CC 85-92	122.2	>2300	35.0	0.143

La variedad CC 85-92 presentó mayor habilidad para fijar carbono por cm^2 de hoja que la CC 01-1940. El valor de la tasa de asimilación máxima fue de 35.0 µmoles$_{(CO2)}$ m^{-2} s^{-1} para la variedad CC 01-1940 y de 39.8 µmoles$_{(CO2)}$ m^{-2} s^{-1} para la CC 85-92, sin diferencia estadística entre variedades.

La respiración (*Rd*) es una medida de la cantidad de carbono que la hoja utiliza para mantener sus funciones vitales y crecer, constituyéndose para cualquier cultivo en un gasto necesario de carbono (Hay y Porter, 2006). La tasa de *Rd* para la variedad CC 01-1940 fue de 3.3 µmoles$_{(CO2)}$ m^{-2} s^{-1} y de 5.0 µmoles$_{(CO2)}$ m^{-2} s^{-1} para la CC 85-92.

El rendimiento cuántico (***ε***) mide la eficiencia con la que la *RFA* se usa para fijar carbono y corresponde a la pendiente inicial de la curva de respuesta a la luz (Goudriaan, 1986; Fernández y Gyenge, 2010). De acuerdo con el Cuadro 1**,** la variedad CC 01-1940 fijó 0.039 µmoles$_{(CO2)}$/µmoles$_{(RFA)}$, mientras que para CC 85-92 el valor fue de 0.043 µmoles$_{(CO2)}$/µmoles$_{(RFA)}$.

La **Figura 7** muestra la respuesta de la fotosíntesis a la *RFA*, de la cual además se pueden obtener dos niveles de radiación importantes: Puntos

de Compensación de Luz y Puntos de Saturación de Luz (*PCL* y *PSL*, respectivamente) (Cuadro 2). Por definición, el *PCL* es el nivel de *RFA* donde la fotosíntesis iguala a la respiración, es decir, la fotosíntesis neta es igual a cero (Gardner *et al*., 1985, Hay y Porter, 2006; Taiz y Zeiger, 2006). Niveles por encima del *PCL* suponen ganancias netas de carbono por parte de la planta. Por su parte, el *PSL* se define como el nivel de *RFA* por encima del cual la fotosíntesis no experimenta ganancias significativas (Gardner *et al*., 1985; Taiz y Zeiger, 2006).

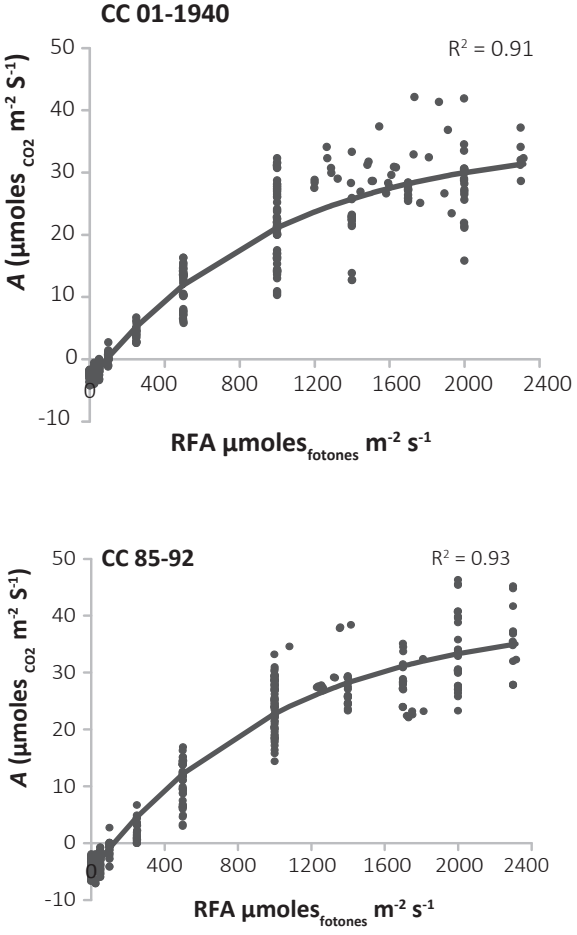


Figura 7. Respuesta de la fotosíntesis a la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en caña de azúcar para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.

En lo relacionado con el *PCL* (Cuadro 2), la variedad con mayor requerimiento de luz para igualar la respiración con la fotosíntesis fue la CC 85-92 (122.2 µmoles$_{(fotones)}$ m^{-2} s^{-1}), en contraste con CC 01-1940 que mostró menor requerimiento de luz (89.6 µmoles$_{(fotones)}$ m^{-2} s^{-1}).

Según los parámetros encontrados con el modelo de Goudriaan (1986), tanto para CC01-1940 como para la CC 85-92 el *PSL* fue superior a los niveles de *RFA* evaluados en este trabajo (2300 µmoles$_{(fotones)}$ m^{-2} s^{-1}), lo cual quiere decir que los materiales evaluados no presentaron saturación lumínica hasta dichos valores.

El análisis del comportamiento de la A_{2300} y la *Rd* (Cuadros 1 y 2) es una relación positiva entre estos parámetros. Así, se infiere que variedades con alta tasa de fijación de carbono A_{2300} presentan mayores tasas de *Rd* y viceversa. La acumulación de biomasa y sacarosa es el resultado del balance entre la fotosíntesis y la respiración del cultivo. En general, la relación entre *Rd* y A_{2300} varió entre 0.107 para la variedad CC 01-1940 y 0.143 para la CC 85-92, lo cual indica que, de la fotosíntesis máxima A_{2300}, la *Rd* es del 10% para la primera variedad y del 14% para la segunda.

Acumulación de sacarosa

La variedad CC 85-92 mostró un patrón de acumulación de sacarosa más precoz que la CC 01-1940. Sin embargo, la concentración de sacarosa al momento de la cosecha fue similar entre las variedades, con valores de 16.8% (**Figura 8**).

La respuesta de la acumulación de sacarosa en la fase final del ciclo del cultivo en función del tiempo muestra que la variedad CC 01-1940 tiende a presentar mayor incremento con respecto a CC 85-92. Este comportamiento indica una aparente fase de estabilidad en la concentración de sacarosa del tallo en estas variedades. De esta manera, si el ciclo de producción de CC 01-1940 fuera más largo, la variedad alcanzaría niveles más altos de sacarosa en el tallo.

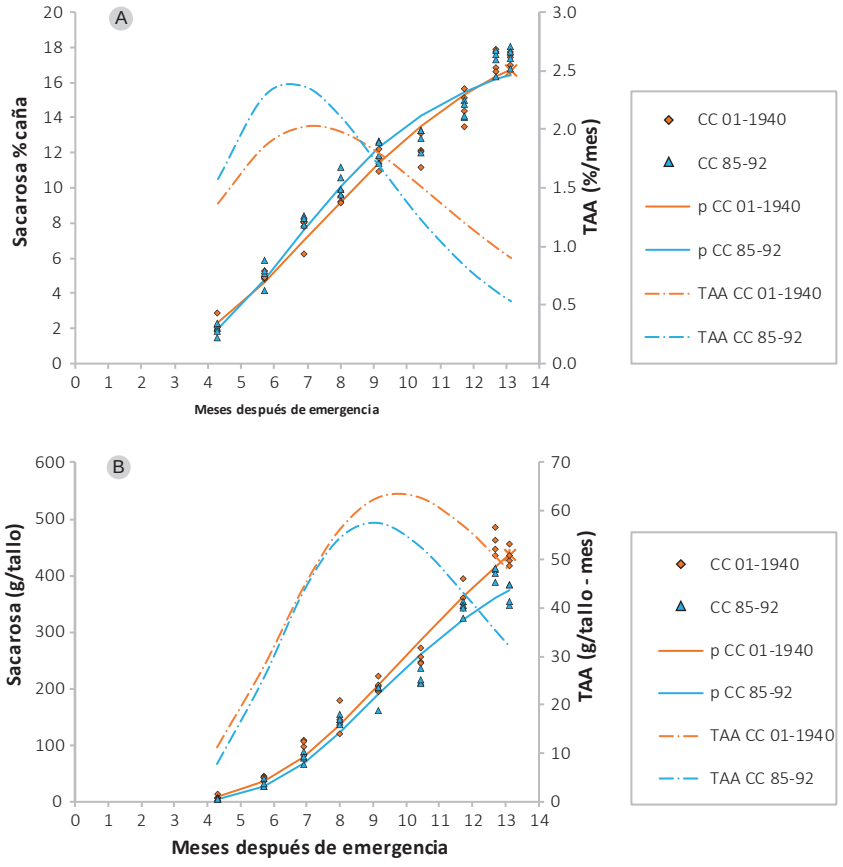
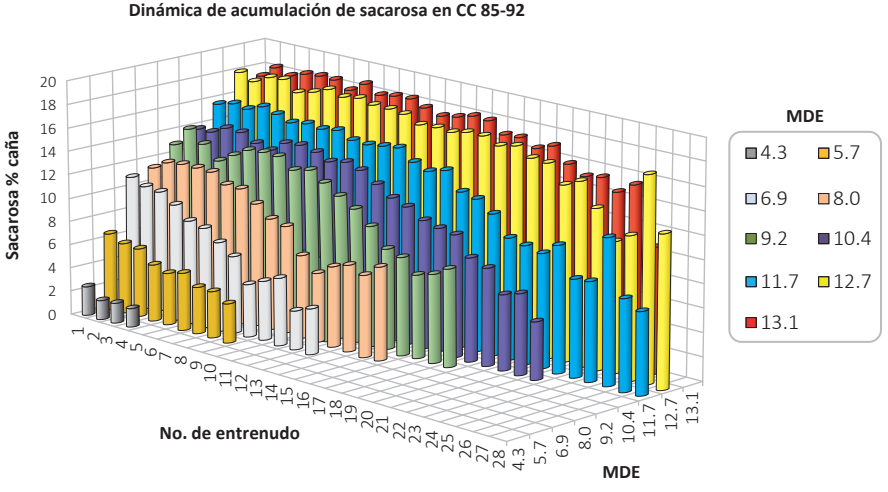


Figura 8. Dinámica de la acumulación de sacarosa de CC 01-1940 y CC 85-92. Las figuras geométricas corresponden a los valores medidos, las líneas sólidas a los valores simulados a partir del modelo y las líneas punteadas son las tasas absolutas de acumulación % de sacarosa respecto al peso fresco del tallo (A) y gramos de sacarosa por tallo (B).

La Figura 8 muestra que la acumulación de sacarosa no es un proceso exclusivo de la fase final del ciclo del cultivo; por el contrario, es un fenómeno que inicia desde el momento de la diferenciación de los nudos y entrenudos y se extiende continuamente hasta la cosecha. La mayor acumulación expresada en sacarosa (% caña) tiene lugar entre los 6.4 y 7.6 MDE, con tasas máximas que varían entre 2.0 unidades porcentuales por mes para la variedad CC 01-1940 y 2.4 para CC 85-92. Por su parte, la mayor ganancia expresada en gramos de sacarosa por tallo ocurrió a los 10.4 MDE para la CC 01-1940, con un valor de 63.0 g/tallo-mes, y a los 9.0 MDE para la CC 85-92, con 57.0 g/tallo-mes.

Variación de la sacarosa en el tallo a lo largo del tiempo

La acumulación de sacarosa a lo largo del tallo es ascendente (de la base al cogollo) y creciente en el tiempo. Sin 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 (**Figura 9**).



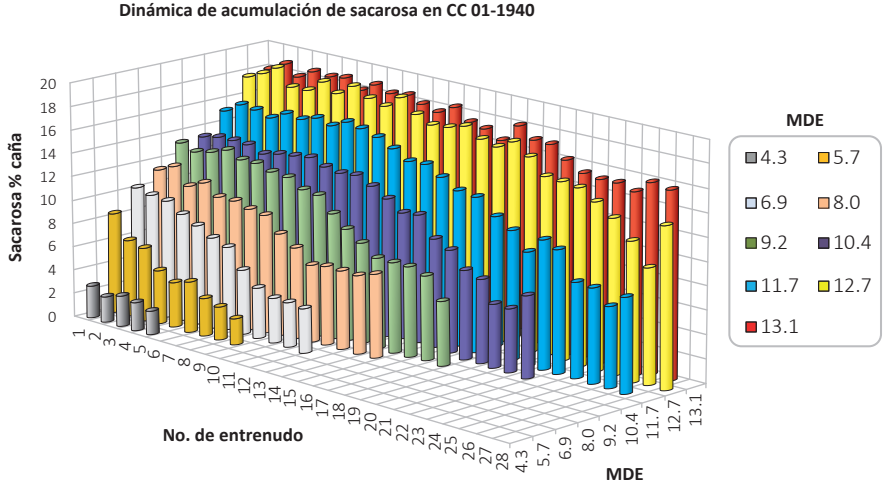


Figura 9. Dinámica de la acumulación de sacarosa en función del tiempo y de la posición del entrenudo en el tallo, para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.

Los primeros entrenudos del tallo aparecen alrededor de los 4 MDE y muestran, para el entrenudo basal (posición 1), una concentración de sacarosa alrededor de 2.6% en CC 01-1940 y de 2% en CC 85-92. Una vez ocurrió la aparición de este entrenudo, la acumulación de sacarosa fue continua y progresiva hasta el momento de la cosecha, tiempo para el cual ambas variedades alcanzaron niveles de sacarosa cercanos al 18%.

A diferencia de los entrenudos basales en épocas tempranas del cultivo (<7.0 MDE), los entrenudos del tercio superior, que aparecen a edades avanzadas (>12.6 MDE), mostraron niveles de sacarosa superiores al 8%. Lo anterior sugiere que al final del ciclo del cultivo la cantidad de sacarosa disponible para la acumulación es mayor que al inicio.

En el cultivo de caña de azúcar los carbohidratos producidos vía fotosíntesis pueden ser usados para promover nuevo crecimiento o ser acumulados como reserva en el tallo. El comportamiento presentado en la Figura 9 muestra una regulación en la tasa de partición de 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 se reduce, fenómeno que favorece la acumulación de sacarosa en los entrenudos jóvenes por encima del crecimiento, con un supuesto de producción constante de carbohidratos vía fotosíntesis. En contraste, la demanda por carbohidratos en la fase inicial y a mediados del ciclo prioriza el crecimiento sobre la acumulación debido a la necesidad de sostener altas tasas de producción de nueva biomasa.

La concentración de sacarosa muestra una relación directa con respecto a la edad del entrenudo. Así, entrenudos viejos presentan mayor concentración que entrenudos jóvenes. A mediados del ciclo del cultivo (6.5 MDE), la concentración promedio de sacarosa de los dos entrenudos basales puede ser, en algunos casos, cerca del 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 un 15-20% al momento de cosecha.

La maduración de la caña 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 está apoyada por la disminución en la tasa de aparición de nuevos entrenudos, así como la reducción en la producción de nueva biomasa. En este escenario, el gasto de sacarosa por respiración de crecimiento se reduce, dando paso a mayores

excedentes de sacarosa para acumular en los entrenudos, principalmente de las posiciones distales.

Edades bajas de corte tendrán consecuencias adversas, tanto en el tonelaje como en el rendimiento (**Figura 9, Cuadro 3**). La cosecha con edades inferiores a 12.0 MDE presenta efectos adversos, debido a que tanto las concentraciones de sacarosa como el número de entrenudos son consistentemente inferiores con respecto a un escenario de corte de 13.1 MDE (Figura 9).

El efecto del corte a baja edad es más grave para la variedad CC 01-1940. La cosecha a edad de 11.7 MDE comparada con un escenario de corte a 13.1 MDE puede implicar pérdidas de sacarosa del orden de 16.7% para CC 01-1940 y de 14% para la CC 85-92 (Cuadro 3). Estas pérdidas de sacarosa pueden significar entre 3 t/ha de sacarosa en CC 85-92 y 5 t/ha en CC 01-1940. En un escenario de cosecha a 12.7 MDE, las pérdidas potenciales se reducen a niveles entre 3.9% en CC 85-92y 5.3% en CC 01-1940 con respecto a la cosecha a 13.1 MDE.

Cuadro 3. Disminución potencial en la producción de sacarosa en función de la edad de corte para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.

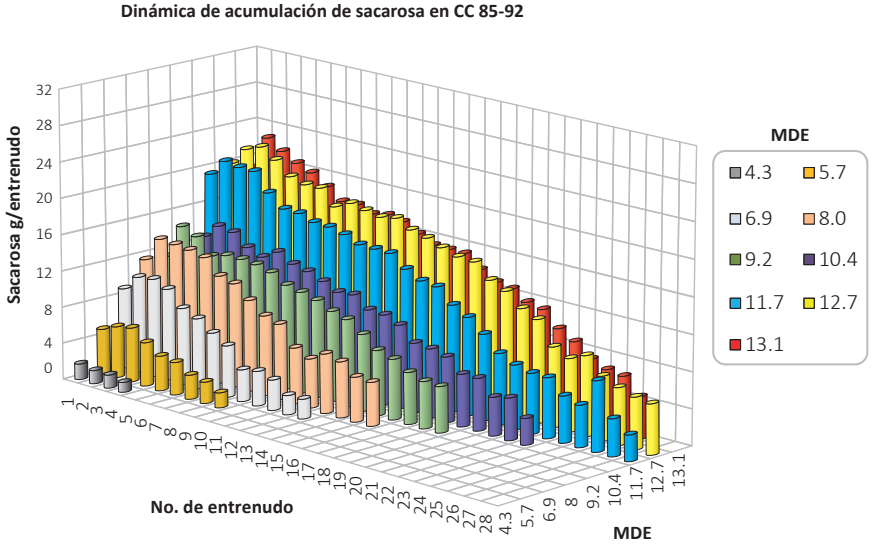
Edad de cosecha MDE *	Variedad	
	CC 01-1940	CC 85-92
11.7	16.7%	14.0%
12.7	4.9%	3.9%

* Como escenario de referencia se utilizó una edad de corte de 13.1 meses después de la emergencia (MDE).

Independientemente de la posición de los entrenudos en el tallo y de la variedad, se observó una relación positiva entre la edad de corte y la concentración de sacarosa en los entrenudos, de modo que las mayores tasas de acumulación de sacarosa en todos los casos se obtuvieron a edades iguales a 13.1 MDE, tiempo máximo de evaluación del experimento.

La **Figura 10** muestra la dinámica de acumulación de sacarosa expresada en gramos por entrenudo. En general, el comportamiento es similar al registrado en la Figura 9. Sin embargo, existen diferencias asociadas principalmente a la cantidad de sacarosa acumulada por entrenudo. Debido a que la sacarosa (% caña) fue similar entre variedades, se puede concluir que las diferencias en cantidad de azúcar por entrenudo están asociadas al peso del entrenudo mismo, lo cual es una característica propia de cada material genético.

Al momento de la cosecha, la variedad CC 01-1940 presentó mayor cantidad de sacarosa por entrenudo que la CC 85-92; mientras la primera alcanzó valores cercanos a 28 g en los basales y a 6 g en los distales, la segunda llegó a 24 g y 4 g, respectivamente.



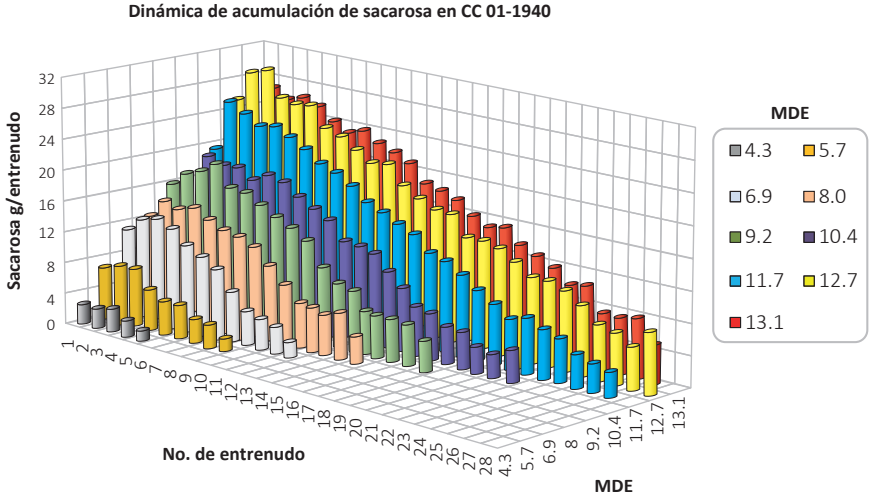


Figura 10. Dinámica de acumulación de sacarosa en función del tiempo y de la posición del entrenudo en el tallo para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.

Nutrición

Fernando Muñoz Arboleda[1]

El Programa de Agronomía de Cenicaña está realizando un proyecto donde se describe el patrón de acumulación de los nutrientes en la biomasa de las principales variedades comerciales de caña de azúcar en el valle del río Cauca, con el fin de generar las curvas de absorción de los nutrientes a través del tiempo. La información sirve para ajustar el manejo de la fertilización (edáfica, incorporada al suelo con maquinaria o con el riego por goteo, y por vía foliar) y ayuda a tomar decisiones sobre la fuente, dosis y momento de aplicación.

La labor de fertilización debe planearse con base en el análisis de suelos y de tejido foliar, siendo el último vital para diagnosticar deficiencias y posibles excesos de un nutrimento; debe realizarse entre los 5 y 7 meses después de la emergencia, preferiblemente a los 6 meses.

Acumulación y tasas de absorción de nutrimentos

Los patrones que describen la acumulación y absorción de los nutrientes se presentan en figuras conocidas como curvas de absorción que muestran la acumulación (eje izquierdo: Y) y la tasa de absorción a través del tiempo (eje derecho: Y_1). El eje horizontal X muestra el tiempo, que en este caso va hasta los 14 meses después de la emergencia.

A continuación se presentan las curvas de absorción para los macroelementos primarios nitrógeno, fósforo y potasio; los secundarios, calcio y magnesio; y los microelementos hierro, manganeso, cobre y boro. Esta clasificación está basada en la cantidad necesaria del elemento para un crecimiento y desarrollo normal del cultivo. En relación con la dinámica que muestran las curvas generadas en la investigación, la variedad CC 01-1940 mostró mayores requerimientos nutricionales que la CC 85-92, lo que señala la importancia de ajustar los programas de fertilización según los requerimientos de cada variedad.

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., edafólogo Cenicaña, fmunoz@cenicana.org

La comprensión de la dinámica de la acumulación de los nutrimentos en los cultivos permite a los asistentes técnicos ajustar e implementar prácticas de manejo sostenible de la nutrición, con el objetivo de optimizar la producción de caña por hectárea y los contenidos de sacarosa. Así como es muy importante conocer la dinámica de absorción de los nutrimentos de las diferentes variedades, también es importante saber que el requerimiento fisiológico de los nutrimentos difiere entre variedades de caña de azúcar. En el **Cuadro 4** se presenta la cantidad de cada nutrimento necesaria para producir una tonelada de tallos de caña.

Cuadro 4. Requerimiento nutricional de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 para producir una tonelada de tallos molederos.

Nutrimento		CC 01-1940	CC 85-92
Elementos mayores (kg)	N	0.9	1.2
	P	0.1	0.2
	K	2.6	2.0
	Ca	0.7	0.7
	Mg	0.2	0.3
	S	0.1	0.7
Elementos menores (g)	Fe	102	94
	Mn	3.6	7.0
	Cu	2.6	0.9
	Zn	4.1	2.7
	B	0.4	0.9

La información contenida en este cuadro no debe usarse para calcular directamente las dosis de fertilizante que se van a aplicar, lo cual debe hacerse con base en los análisis de suelo y de tejido foliar. Se presenta para demostrar que cada variedad tiene diferentes requerimientos fisiológicos.

La eficiencia de uso de los nutrimentos puede ser definida como el menor requerimiento de un nutrimento por unidad de producto final (tonelada de caña). La información del **Cuadro 4** permite ver las diferencias que presenta cada variedad en la eficiencia de uso de los nutrimentos. Por ejemplo, la variedad CC 01-1940 es más eficiente en el uso de N, P, Mg, S, Mn y B, mientras que la CC 85-92 es más eficiente en el uso de K, Fe, Cu y Zn. Las dos variedades presentan un uso similar del Ca.

Nitrógeno (N)

El N acumulado (NA) y la tasa de absorción (TAN) de CC 01-1940 tendieron a ser mayores que los de CC 85-92 (**Figura 11**). La tasa de absorción del N es creciente hasta el quinto mes después de la emergencia, cuando alcanza un valor de 45 kg/ha-mes; luego desciende hasta un valor cercano a 10 kg/ha-mes a los 11 meses del ciclo de crecimiento (**Figura 11**, eje derecho). Debido a este comportamiento, la caña de azúcar está en capacidad de absorber hasta el final del ciclo el N disponible en el suelo o aplicado a través de la fertilización. Sin embargo, hacia el final del ciclo, la capacidad de absorción es muy baja, por lo que no se recomienda aplicar este elemento en edades avanzadas.

La fase creciente de la TAN (línea punteada) hasta el quinto mes permite usar urea en aplicaciones edáficas sin ningún inconveniente, ya que su extensión permitirá su conversión en amonio y nitrato, las formas en que el cultivo puede absorber el elemento. Más allá del quinto mes no se recomienda aplicación de N. Si se decide hacerlo, debe ser con fuentes de rápida absorción como nitrato de amonio o solución UAN (urea-nitrato de amonio). En cuanto a la aplicación a través de sistemas de goteo, se recomienda usar fuentes de rápida absorción como las citadas anteriormente para permitir que el cultivo absorba el N rápidamente durante el evento de riego.

El cálculo de la dosis necesaria de N es un reto porque depende del contenido de materia orgánica y, más específicamente, de la mineralización de la fracción lábil de la materia orgánica; el proceso es netamente de carácter biológico y puede verse afectado por las condiciones edáficas y ambientales; existe evidencia de que la fijación biológica de N es un proceso que puede aportar una fracción significativa del N que usa el cultivo.

Fósforo (P)

Los valores de P acumulado (PA) y de la tasa de absorción de P (TAP) de la CC 01-1940 fueron mayores que los de CC 85-92 (**Figura 11**), de lo que se deduce la mayor necesidad de P para la primera. Al final del ciclo, CC 01-1940 presenta un valor de PA de casi 40 kg/ha en su biomasa total, mientras que en CC 85-92 es de 33.0 kg/ha. La TAP máxima de la CC 01-1940 es a los 5 meses y alcanza un valor de 6 kg/ha-mes, mientras que la TAP máxima de CC 85-92 es de 4.3 kg/ha-mes y se alcanza cerca de los 5.5 meses.

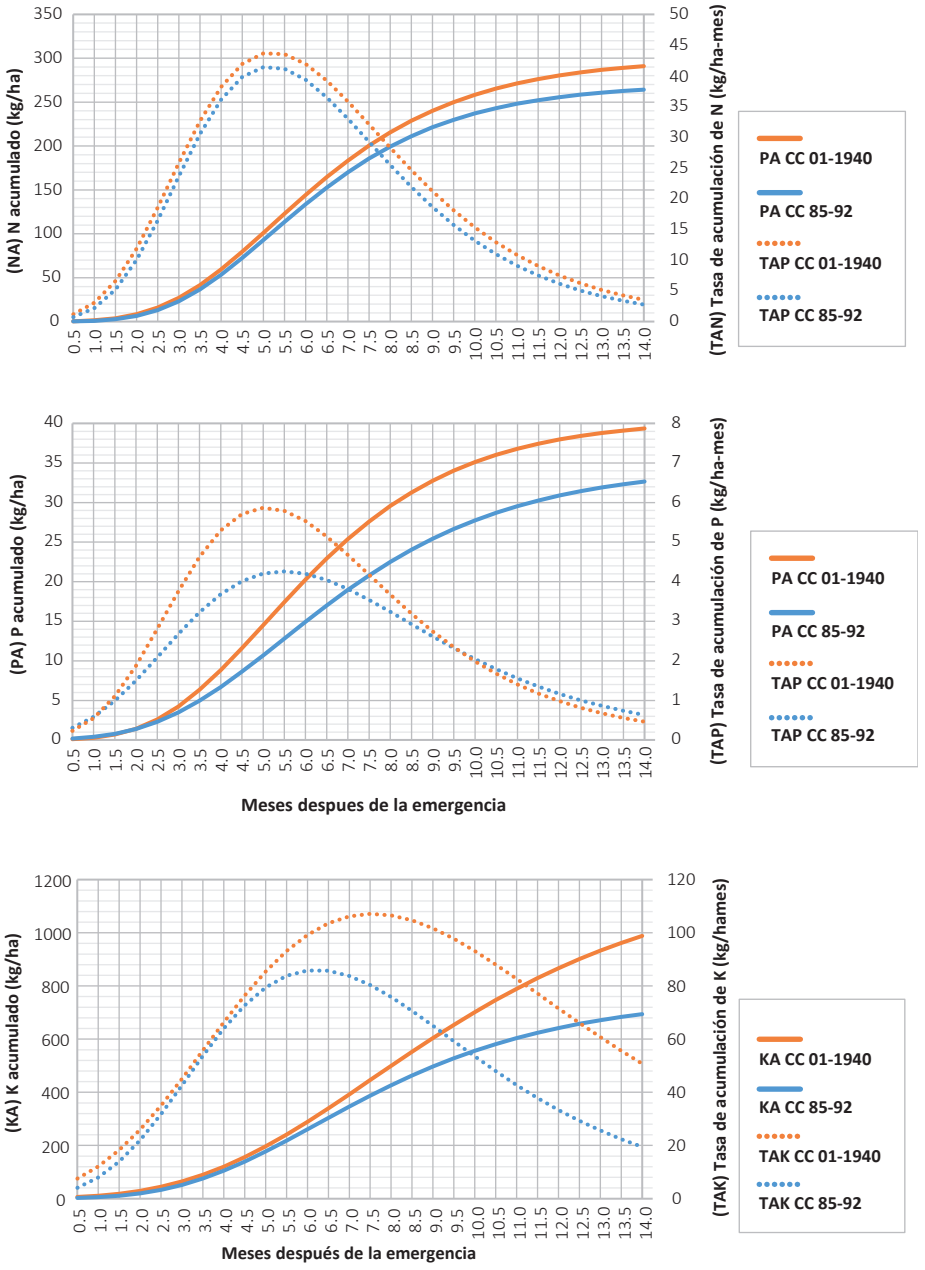


Figura 11. Dinámica temporal de la acumulación del nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940

Debido a que el P es un nutriente casi inmóvil en el suelo, en plantilla se recomienda aplicar el fertilizante edáfico al fondo del surco, donde queda al alcance de la raíz. Las fuentes comunes en nuestro medio para aplicación edáfica de P son el MAP (fosfato monoamónico) y el DAP (fosfato diamónico). Se ha sugerido que se debe usar el MAP en suelos con pH básico (>7) y el DAP en suelos ácidos (<7), pero no hay evidencia de la ventaja de hacerlo. El ácido fosfórico es una buena fuente de P cuando se hace fertigación por goteo, porque además de nutrir el cultivo ayuda a mantener limpio el sistema de riego.

Potasio (K)

En cuanto al K, se observó que la variedad CC 01-1940 presentó un acumulado (KA) de 990 kg/ha, mientras que la CC 85-92 alcanzó un valor de 700 kg/ha. Lo anterior demuestra que la CC 01-1940 presenta mayor requerimiento de K; aplicar la cantidad adecuada de K contribuye a mejorar los contenidos de sacarosa. La TAK de la variedad CC 01-1940 presenta su valor máximo (108 kg/ha-mes) alrededor de los 7.5 meses, mientras que CC 85-92 lo hace cerca del sexto mes (86 kg/ha-mes) (**Figura 11**). Esto significa que CC 01-1940 tiene un período de absorción mayor y más prolongado que CC 85-92, característica que debe tenerse en cuenta cuando se establezca su plan de fertilización, especialmente donde es por goteo.

Una de las principales fuentes de K utilizadas para la fertilización de la caña de azúcar es la vinaza, por su alto contenido de K. Cuando se usa debe tenerse en cuenta que, además del K, la vinaza también es fuente de S, Mn, Fe, Zn; estos elementos menores, si se aplican en exceso, pueden causar daño al cultivo. La segunda fuente de K más empleada es el KCl; en este caso se debe considerar que el anión acompañante del K (60%) es el cloro, Cl (40%), que debe manejarse con cuidado ya que puede ser tóxico en altas concentraciones.

Calcio (Ca)

La acumulación de Ca (CaA) de la CC 85-92 fue mayor que la de la variedad CC 01-1940 (113 y 92 kg/ha, respectivamente). Por el contrario, la tasa de acumulación (TACa) más alta la presentó la variedad CC 01-1940 (25 kg/ha-mes) a los 5 meses después de la emergencia, mientras que la CC 85-92 alcanzó su mayor valor (17 kg/ha-mes) a los 6.5 meses (**Figura 12**). Aunque hasta los seis meses la TACa de la CC 01-1940 es más alta que la de CC 85-92, a partir de ese momento decrece rápidamente y se mantiene por debajo de CC 85-92 hasta los 14 meses.

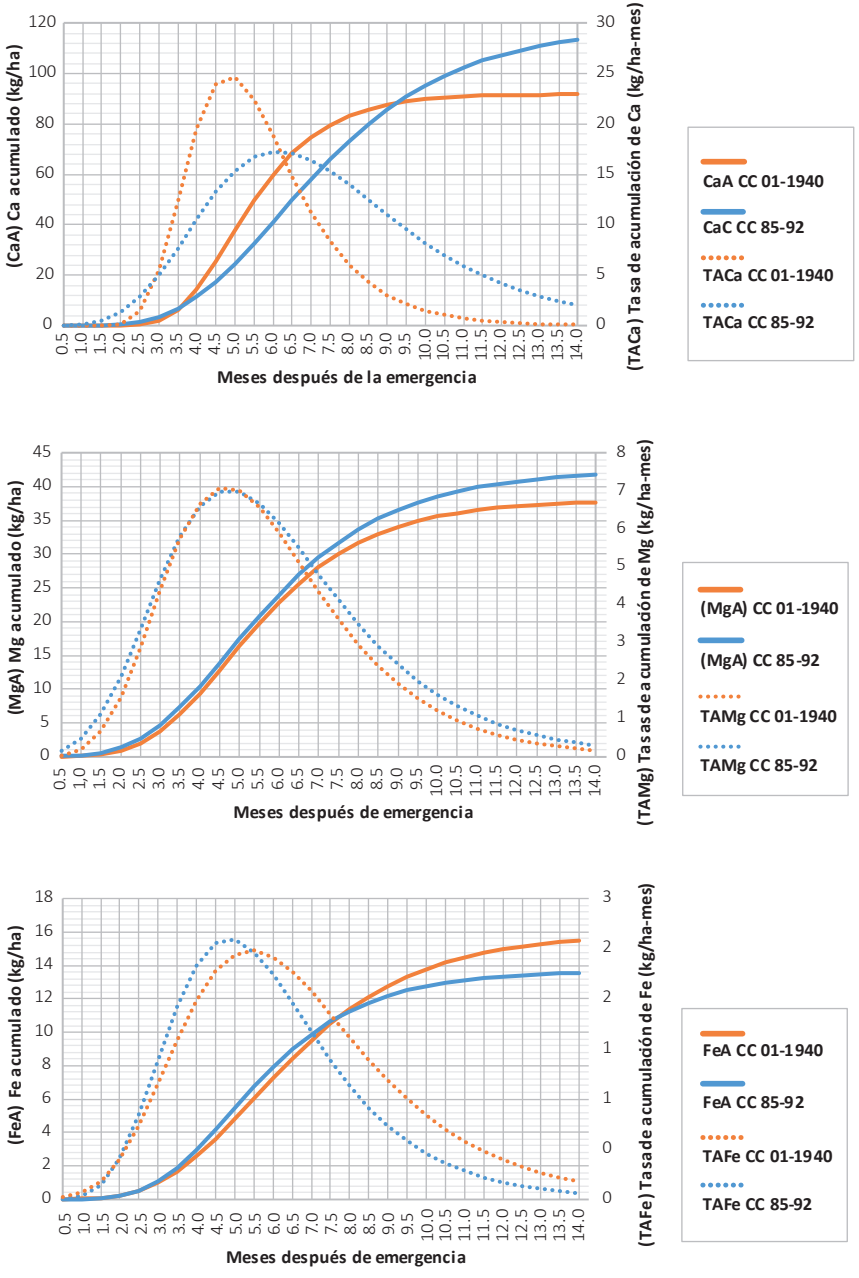


Figura 12. Dinámica temporal de la acumulación del calcio (Ca), magnesio (Mg) y hierro (Fe) en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940

La alta disponibilidad de Ca en los suelos del valle del río Cauca puede causar que la demanda de Ca de la CC 85-92, alta pero mejor distribuida, sea suplida sin problema por las reservas que existen en el suelo en la mayoría de los sitios de producción. Por su parte, la alta TACa de CC 01-1940, concentrada entre los 4 y 6 meses, puede hacer que en algunos sitios se presente deficiencia del nutriente, sobre todo en suelos ácidos con alta lixiviación de Ca.

Magnesio (Mg)

El Mg acumulado durante todo el ciclo del cultivo (MgA) y su correspondiente tasa (TAMg) fueron muy similares para las dos variedades (**Figura 12**), siendo un poco mayor para la variedad CC 85-92 (42 kg/ha) frente a la CC 01-1940 (38 kg/ha). En algunos sitios del valle del río Cauca, la alta disponibilidad de Ca podría bloquear la entrada de Mg a la planta y producir deficiencias. Aunque podría suceder lo contrario en suelos con alta disponibilidad del mismo.

Hierro (Fe)

El Fe es el micronutriente que la caña de azúcar requiere en mayor cantidad. El Fe acumulado (FeA) durante el ciclo del cultivo fue un poco superior en la variedad CC 01-1940 (15.5 kg/ha) frente a la CC 85-92 (13.6 kg/ha). La tasa de acumulación (TAFe) máxima de las dos variedades se observó entre los 4.5 y 5.0 meses después de la emergencia (2.6 kg/ha en CC 85-92 y 2.5 kg/ha en CC 01-1940) (**Figura 12**).

La deficiencia de Fe es una de las más comunes en el valle del río Cauca, pero generalmente es pasajera y se presenta en los primeros tres meses de crecimiento del cultivo. La deficiencia parece estar asociada a la presencia de horizontes calcáreos cerca de la superficie del suelo, de modo que desaparece cuando las raíces crecen por fuera del horizonte. De acuerdo con los resultados obtenidos, la variedad CC 01-1940 necesita más cantidad de Fe que la CC 85-92.

Manganeso (Mn)

El patrón de acumulación del Mn es acelerado, tanto que al sexto mes después de la emergencia ya había sido absorbido cerca del 90% del total del elemento. El Mn acumulado (MnA) fue similar en las dos variedades y alcanzó valores alrededor de 600 g/ha (**Figura 13**). La máxima tasa de acumulación se da al mismo tiempo para ambas variedades (4 meses) con valores de 218 y 190 g/ha-mes para CC 01-1940 y CC 85-92, respectivamente. Las bajas cantidades de micronutrientes requeridas por las plantas los hacen tóxicos si

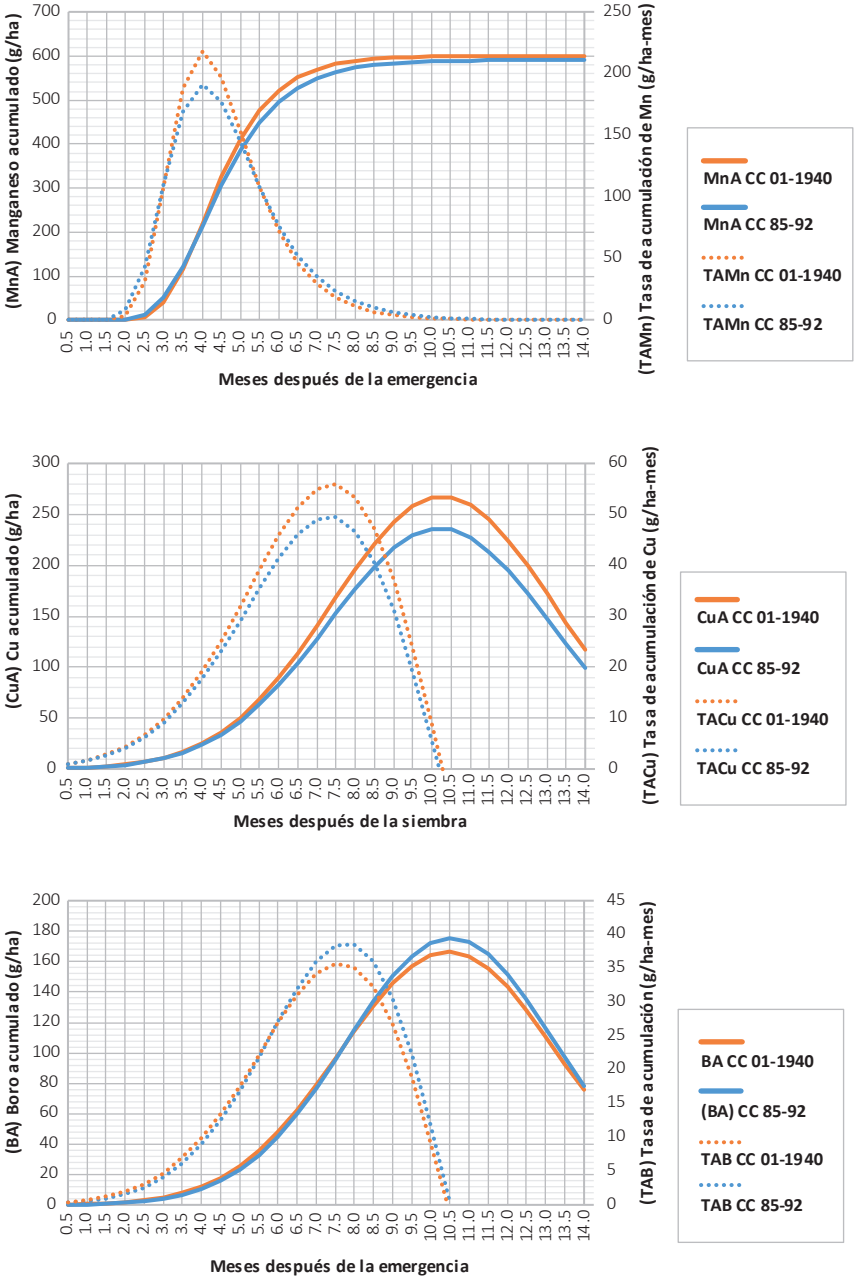


Figura 13. Dinámica temporal de la acumulación del manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B) en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940

son aplicados en exceso. La disponibilidad del Mn se incrementa en suelos saturados, volviéndose tóxico cuando los valores son elevados.

Cobre (Cu)

En comparación con de los nutrimentos anteriores, el Cu presentó una dinámica diferente, con un decrecimiento pronunciado al final del ciclo de cultivo. Se observó mayor absorción del elemento acumulado (CuA) en CC 01-1940 (270 g/ha) frente a CC 85-92 (240 g/ha). El descenso del CuA después de los 10.5 meses podría explicarse por la pérdida de hojas (deshoje); el Cu es un nutrimento inmóvil en la planta y parte de él queda retenido en las hojas secas. La tasa de acumulación (TACu) alcanzó su pico máximo cerca de los 7.5 meses (56 y 50 g/ha-mes en CC 01-1940 y CC 85-92, respectivamente) y decreció rápidamente hasta detenerse entre los 10.0 y 10.5 meses después de emergencia (**Figura 13**). La deficiencia de Cu no es común en la caña de azúcar en Colombia.

Boro (B)

El B acumulado (BA) y su correspondiente tasa de acumulación (TAB) presentaron patrones similares a los del Cu, un nutrimento que, al igual que B, es casi inmóvil en los tejidos de la caña de azúcar. El Cu y el B se quedan en las hojas secas y esto explica la disminución en el BA al final del ciclo. El pico máximo de BA (170 g/ha) se alcanzó a los 10.5 meses después de la emergencia. La TAB alcanzó su máximo (38 g/ha-mes) entre los 7.5 y 8.0 meses (**Figura 13**). La aplicación de B, sea foliar o edáfica, debe realizarse solo donde se observe deficiencia, considerando que este micronutrimento puede volverse tóxico si se aplica de forma indiscriminada.

Contenidos foliares óptimos de nutrimentos

En el **Cuadro 5** se presenta el contenido de nutrimentos en el tejido foliar de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92a los 6 meses de edad, determinados en los sitios experimentales establecidos por Cenicaña. El contenido nutricional foliar debe usarse junto con el análisis de suelo para determinar la deficiencia, suficiencia o exceso de un nutrimento en cada sitio de producción. Cenicaña recomienda que se usen como referencia los análisis hechos a los 6 meses después de la emergencia de las plantas, debido a que alrededor de esta edad se presenta el máximo requerimiento de nutrimentos en las variedades de caña de azúcar. A pesar de que a los 6 meses de edad ya

es tarde para remediar alguna deficiencia, el análisis foliar se debe tomar como una evaluación del esquema de la fertilización que se hizo en el ciclo en que se tomó el muestreo y como base para el ajuste de la fertilización del siguiente ciclo de producción.

Los contenidos foliares de la CC 01-1940 provienen de dos sitios donde el análisis foliar se realizó en las áreas de mayor productividad en términos de tonelaje de caña y azúcar por hectárea (TCH y TAH) en el área experimental; los valores observados se reportaron en el **Cuadro 5**. Las zonas agroecológicas de los dos sitios experimentales fueron 5H5 y 6H1. En el primero, la cosecha se realizó entre los 12 y 13 meses de edad en plantilla y socas, respectivamente; y en el segundo, a los 13.8 meses la plantilla y 14.5 la primera soca. La productividad promedio en las zonas de alta productividad fue de 220 TCH y 27.8 TAH. Los CC 85-92 provienen también de sitios experimentales y se registran aquí como referencia para comparación con CC 01-1940.

Se debe recordar que una alta productividad y el éxito del cultivo no dependen solamente del estado nutricional del cultivo sino de la correcta elección de la variedad de caña de azúcar y de las buenas prácticas de manejo consideradas integralmente. Las recomendaciones de manejo agronómico pueden encontrarse en la Guía de Recomendaciones Técnicas (GRT-AEPS®) disponible en www.cenicana.org para usuarios registrados.

Cuadro 5. Contenido foliar óptimo de nutrimentos para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 a los 6 meses después de la siembra o corte.

Nutrimento		CC 01-1940	CC 85-92
		6 meses	6 meses
Elementos mayores	N (%)	1.96	1.55
	P (%)	0.25	0.23
	K (%)	1.71	1.32
	Ca (%)	0.36	0.30
	Mg (%)	0.21	0.26
	S (%)	0.16	0.16
Elementos menores	Fe (mg/kg)	103.56	99.49
	Mn (mg/kg)	40.64	41.64
	Cu (mg/kg)	6.40	4.90
	Zn (mg/kg)	13.72	11.75
	B (mg/kg)	1.82	4.58

Germinación

Fernando Villegas Trujillo[1]

Una buena germinación es indispensable para la buena producción de los cultivos. En las siembras comerciales de caña de azúcar en el valle del río Cauca es común la germinación 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 y, en otros casos, al estado hídrico del suelo durante los primeros días posteriores a la siembra. Se presentan a continuación los resultados de dos experimentos: uno sobre el efecto del manejo de la semilla en la germinación y el otro sobre las ventajas de la siembra en lomo en sitios donde prevalecen condiciones de alta humedad en el suelo.

Efecto del manejo de la semilla en la germinación

Normalmente, se siembra un paquete de semilla a lo largo de 10 metros de surco, a razón de 7 a 10 yemas por metro. Según el espaciamiento dado entre los surcos, se siembran de 40,000 a 67,000 yemas por hectárea. Un paquete de semilla consta de 30 trozos de caña y cada trozo tiene 3 o 4 yemas.

Como parece, bastaría con que germinara solamente el 30% de las yemas sembradas y se tendría entre 12,000 y 20,000 cepas por hectárea, suficiente para garantizar la población de tallos que asegura una producción normal de caña de azúcar. El problema radica en que las yemas no germinan espaciadas de manera uniforme y, donde los porcentajes de germinación son bajos lo más probable es que queden espacios amplios sin plantas a lo largo de los surcos, que obligarían 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 realizó un experimento de enero a abril de 2011. Se utilizaron las variedades: CC 85-92 de ocho meses de edad, CC 93-4418 de 10 meses y CC 01-1940 de seis meses. El experimento

1. Ingeniero agrícola, M. Sc., ingeniero de mecanización agrícola Cenicaña, fvillegas@cenicana.org

se hizo en una zona agroecológica 23H1, suelo Refugio (*Entic Haplusterts*) de familia textural arcillosa sobre arenosa. Se evaluaron tres sistemas de manejo de la semilla (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Efecto del manejo de la semilla en la germinación de las variedades CC 85-92, CC 93-4418 y CC 01-1940.

Variedad	Manejo de la semilla	Germinación			Población				Altura
		15	30	45	60	75	90	140	3 meses
		días después de la siembra			(Tallos*1000/ha)				(cm)
CC 85-92	Cuidadoso	21	58	61	141.1	162.1	166.3	131.9	63
	Comercial	28	67	71	141.7	168.9	175.3	134.8	58
	Daño intencional	18	43	48	110.4	137.5	150.1	120.8	59
CC 93-4418	Cuidadoso	21	43	45	143.7	171.1	177	143.2	61
	Comercial	24	43	45	157.3	190.9	193.1	147.5	61
	Daño intencional	18	32	33	126.0	148.1	153.1	125.2	63
CC 01-1940	Cuidadoso	24	61	64	133.3	170.0	179.7	140.1	73
	Comercial	20	61	65	120.5	154.1	174.7	147.6	73
	Daño intencional	21	49	53	107.5	139.3	157.6	139.7	65
Significancia para la interacción Variedad x Manejo		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Promedio por Variedad									
CC 85-92		22	56a	60 a	131.1	156.2	163.9	129.1 b	60 b
CC 93-4418		21	39b	41 b	142.4	170.0	174.4	138.6 a	62 b
CC 01-1940		22	57a	61 a	120.4	154.5	171.3	142.5 a	70 a
Significancia		NS	<0.01%	<0.01%	NS	NS	NS	5.00%	<0.01%
Promedio por Manejo de la semilla									
Cuidadoso		22	54a	57 a	139.4 a	167.7 a	174.3 a	138.4 a	66
Comercial		24	57a	60 a	139.9 a	171.3 a	181.0 a	143.3 a	64
Daño intencional		19	41b	45 b	114.6 b	141.7 b	154.3 b	128.6 b	62
Significancia		NS	<0.01%	1%	0.10%	1%	1%	1%	NS
Promedio general		**22**	**51**	**54**	**131.3**	**160.2**	**169.9**	**136.8**	**64**
C.V. (%)		32.2	13.1	12.4	15.0	11.8	10.8	8.3	8.5

Los resultados mostraron una germinación muy similar de CC 01-1940 y CC 85-92 a los 45 días después de la siembra (dds), cuando ambas registraron germinaciones alrededor del 60%; al mismo tiempo, la germinación de CC 93-4418 fue solo del 41%.

A los tres meses de edad, CC 01-1940 y CC 93-4418 tenían un buen macollamiento y superaban en población a CC 85-92; en altura de plantas la CC 01-1940 tenía un promedio de 70 cm y superaba en cerca de 10 cm a CC 85-92 y CC 93-4418.

Los resultados demostraron que en el manejo comercial de la semilla no se produce un daño grave a las yemas como para afectar significativamente la germinación. En este experimento no hubo diferencias en los porcentajes de germinación entre los tratamientos de manejo cuidadoso y manejo comercial. Solamente en el tratamiento que tuvo daño intencional del 50% de las yemas, que en este caso consistió en un golpe a la yema, se produjo alguna disminución en los porcentajes de germinación.

En las evaluaciones de crecimiento a los tres meses después de la siembra la altura de plantas fue muy similar entre los sistemas de manejo (alrededor de 64 cm). La población de tallos a los 140 dds no mostró diferencia entre el manejo cuidadoso y el comercial, con un promedio de 140,000 tallos/ha; al mismo tiempo, la población de 128,000 tallos/ha en el tratamiento de daño intencional fue significativamente inferior en relación con los otros sistemas de manejo. No hubo interacción entre la variedad y el manejo de la semilla. El experimento confirmó que el manejo no es un factor crítico para la germinación de la semilla.

Las investigaciones realizadas por Cenicaña mostraron que otros factores, entre ellos el estado de sanidad de la semilla, la calidad de la preparación del suelo, el tapado de la semilla y la condición de humedad del suelo, tienen quizás mayor incidencia en la germinación que el mismo manejo de la semilla. Se pudo establecer que alrededor del 30% de las yemas que se sembraron no germinaron, a pesar de tener condiciones favorables. Las yemas que no fueron viables en condiciones favorables se identificaron como el factor individual de mayor incidencia en la germinación (Villegas y Ramírez, 2012).

Siembra en el lomo en condiciones de alta humedad

En vista de que la variedad CC 01-1940 se recomienda para ambientes húmedos, la siembra en el lomo es una opción utilizada en algunas ocasiones para mejorar la germinación, puesto que permite un buen drenaje superficial y protege la semilla de las condiciones adversas por el exceso de humedad que ocurre después de las precipitaciones.

Para confirmar la ventaja de esta práctica se llevó a cabo un experimento en la zona húmeda del sur del valle del río Cauca, desde abril hasta junio de 2011. Se sembraron CC 85-92 y CC 01-1940, la primera porque era la variedad más sembrada comercialmente en el valle del río Cauca y, la segunda porque era una variedad promisoria para zonas húmedas. El experimento se sembró en un suelo Ballesteros (*Typic Endoaquerts*) de familia textural fina. No se aplicó el riego de germinación debido a la intensidad de las lluvias durante los primeros días después de la siembra. Durante el primer mes se presentó encharcamiento en todos los surcos de las parcelas.

Los resultados indican que la siembra en el lomo es más apropiada para la siembra de la semilla en condiciones de suelos húmedos, frente a la siembra convencional en el surco (**Cuadro 7**). A los 45 dds, la germinación en el lomo estuvo alrededor del 52%, mientras que en el surco varió entre el 25 y el 32%. No se encontraron diferencias significativas entre las dos variedades. CC 01-1940 registró menores porcentajes de germinación que CC 85-92 cuando se sembró en el surco y, en las evaluaciones realizadas a los 60, 75 y 90 dds, la población continuaba siendo menor. Sin embargo, cuando se sembró en el lomo, la variedad CC 01-1940 presentó mayores valores de germinación, población y crecimiento que la variedad CC 85-92.

En condiciones húmedas, la siembra en el lomo facilita la germinación porque permite condiciones más favorables de aireación para la semilla. Posiblemente esta metodología no es muy utilizada comercialmente porque, en ocasiones, después de la siembra no se presentan las lluvias que se esperaban y la semilla queda sometida a condiciones de déficit de humedad, debido a que el lomo se seca muy rápidamente. Por esta razón es importante contar con información sobre pronósticos de lluvia, para tomar la mejor decisión al momento de sembrar.

En el sitio de experimentación hubo una precipitación de 347.7 mm durante los primeros 30 dds y el nivel freático estuvo a una profundidad promedio de 20 cm. En tales condiciones, la semilla que se había sembrado en el lomo se vio favorecida porque no tuvo un exceso de humedad durante el período de germinación. Por el contrario, la siembra en el surco estuvo afectada debido al encharcamiento que se presentó en el primer mes después de la siembra.

Cuadro 7. Efecto de la siembra en lomo o en el surco en la germinación de la semilla en condiciones de exceso de humedad.

Localización de la semilla en la siembra	Germinación				Población			Altura
	15	30	45	60	60	75	90	3 meses
	días después de la siembra				(Tallos*1000/ha)			(cm)
CC 85-92 surco	2	17 b	32 b	33 b	58.7 b	72.0 b	83.1 b	33 c
CC 85-92 lomo	4	46 a	54 a	51 a	96.2 a	122.6 a	134.0 a	40 b
CC 01-1940 surco	3	14 b	26 b	28 b	37.0 b	51.2 b	68.4 b	35 c
CC 01-1940 lomo	4	36 a	52 a	52 a	93.9 a	134.3 a	160.1 a	46 a
Promedio	**3**	**28**	**41**	**41**	**71.4**	**95.0**	**111.4**	**39**
C.V. (%)	33.1	27.3	20.9	21.9	23.4	19.9	17.7	8.6
Significancia	NS	<0.01%	0.10%	1.00%	0.10%	<0,01%	<0,01%	0.10%

Requerimiento de agua

Édgar Hincapié Gómez[1]

Los requerimientos de agua de la caña de azúcar están representados por la evapotranspiración del cultivo y en una pequeña fracción (1% a 2%) por la formación de los tejidos. La evapotranspiración (*ETc*) equivale al agua que transpiran las plantas a través del tejido foliar sumada al agua que se evapora directamente desde la superficie del suelo. Estos requerimientos dependen de factores del suelo y del estado de desarrollo del cultivo, las condiciones ambientales y la disponibilidad de agua en el suelo, entre otros. Los requerimientos de agua de un cultivo se determinan mediante la medición directa de la extracción de agua por el cultivo o mediante la determinación de la evapotranspiración potencial multiplicada por un factor K del cultivo.

En las condiciones ambientales de la Estación Experimental de Cenicaña, con una evapotranspiración potencial de 1720 mm, la evapotranspiración acumulada de la variedad CC 01-1940 en el primer corte (plantilla), medida por el método del balance de agua en el suelo durante un período de 12.5 meses comprendido entre la emergencia de las plantas y el momento de la cosecha, fue de 1200 mm, con un valor medio de 3.17 mm. día^{-1}. La máxima extracción de agua por el cultivo se registró entre los 3.5 meses y los 6.5 meses después de la emergencia de las plantas (**Figura 14**).

Los incrementos sustanciales que se observaron en diferentes períodos, en muchos casos correspondieron a la *ETc* registrada después de un evento de lluvia o de riego. Lo anterior puede deberse a una mayor disponibilidad de agua en la superficie del suelo, susceptible de evaporación, y a un incremento del potencial hídrico del suelo que hace que las plantas puedan absorber agua con mayor facilidad. Los valores cercanos a cero correspondieron a la *ETc* registrada en días con baja temperatura y poca radicación solar.

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., ingeniero de suelos y aguas Cenicaña, ehincapie@cenicana.org

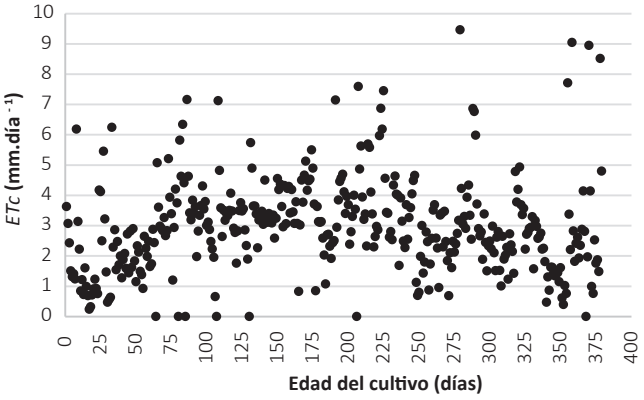


Figura 14. Evapotranspiración (*ETc*) diaria de la caña de azúcar, variedad CC 01-1940, medida por el método del balance de agua en el suelo.

El consumo de agua de la caña de azúcar varía según la disponibilidad de agua en el suelo. En este estudio se observó que después de un evento de riego o de una precipitación, la tasa de transpiración se incrementó. Asimismo, a medida que la cantidad de agua disponible en el suelo se redujo, la tensión aumentó y la *ETc* disminuyó.

El requerimiento de agua de la variedad CC 01-1940 se encuentra entre los valores obtenidos para otras variedades de caña de azúcar cultivadas en el valle del río Cauca, los cuales oscilan entre 1050 mm y 1500 mm durante un ciclo de 13 meses.

Una vez obtenida la *ETc* para la variedad CC 01-1940, se determinó el K del cultivo a escala diaria, mediante la relación K = *ETc* / *EV*, donde la *ETc* correspondió a los valores diarios promedio obtenidos y *EV* a la evaporación de referencia calculada mediante el modelo de Cenicaña. Posteriormente, los valores de K se ajustaron a un modelo logarítmico normal de la forma:

$$\mathrm{K} = a.exp\left[-0.5\left(\frac{LN(t/x_o)}{b}\right)^2\right]$$

donde

a corresponde al K máximo,
t a la edad del cultivo en días,
x_o a la edad en la cual se alcanza el K máximo, en días, y
b es un parámetro de escala.

En el **Cuadro 8** se presentan los resultados del análisis de varianza de la regresión entre K y la edad del cultivo (días después de emergencia); en el **Cuadro 9**, los valores de los parámetros del modelo no lineal para la estimación del K diario. En la **Figura 15** se muestra la curva ajustada de K con los intervalos de confianza.

El K máximo fue de 0.716 en promedio; osciló entre 0.66 y 0.76 con una confiabilidad del 95%. La edad a la que se alcanzó el K máximo fue de 112 días y osciló entre 112 y 132 días.

Estos resultados corresponden al análisis de datos obtenidos durante el primer corte del cultivo (plantilla), por lo cual los parámetros del modelo pueden cambiar ligeramente cuando se obtengan los resultados de la *ETc* durante la primera soca y la segunda.

Cuadro 8. Análisis de varianza entre la variable K y la edad del cultivo (días después de la emergencia) de la caña de azúcar CC 01-1940.

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	190.7	63.55	480.7	<0.0001
Error	360	47.59	0.13		
Total	363	283.3			

Estadísticas del modelo: Pseudo R^2 = 0.68; Error Std = 0.36.

Cuadro 9. Parámetros estimados del modelo para la estimación de K a partir de la edad del cultivo de caña de azúcar CC 01-1940.

Parámetro	Valor estimado	Error estándar	Límites de confianza al 95%	
a	0.71	0.0271	0.6626	0.7692
x_o	122	5.0737	112.1	132.0
b	0.99	0.0510	0.8927	1.0933

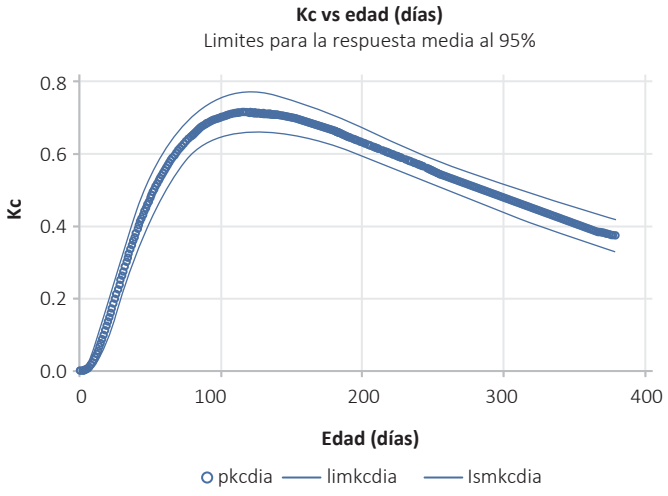


Figura 15. Curva de K ajustada al modelo log normal, para el cultivo de caña de azúcar variedad CC 01-1940.

Control de arvenses

Luis Eduardo Cuervo Lugo[1]

Considerando la importancia del control de arvenses en el cultivo de la caña de azúcar, se resumen a continuación los aspectos más relevantes del manejo comercial de arvenses por parte de los cultivadores.

El control de arvenses en campos sembrados con la variedad CC 01-1940 no representa ningún problema en el manejo agronómico, en razón de que se pueden utilizar los métodos de control convencionales (manual y químico) sin que tengan un efecto en el desarrollo normal de la caña de azúcar durante el ciclo de cultivo.

La variedad CC 01-1940 presenta un cierre más tardío que las variedades CC 85-92 y CC 93-4418, principalmente en plantilla que crecen en suelos arcillosos con problemas de humedad y características químicas pobres. En estas condiciones, el desarrollo de la CC 01-1940 es lento, lo que obliga a realizar controles adicionales de las arvenses, químicos o manuales.

A escala comercial, el control químico de las arvenses en campos sembrados con la variedad CC 01-1940 se está realizando con las mismas dosificaciones e ingredientes activos que se utilizan en campos con las variedades comerciales CC 85-92 y CC 93-4418, sin que se aprecien problemas de toxicidad a estos productos aplicados en las dosificaciones normales. Sin embargo, cuando se utilizan herbicidas de contacto (M.S.M.A, Terbutrina, Hexazinona) en dosificaciones altas y principalmente contra gramíneas que están fuera de su época de control, la caña puede verse afectada, sobre todo si es una plantilla, lo cual se manifiesta por quemazones en las puntas de las hojas.

1. Ingeniero agrónomo, jefe de investigación Incauca, lecuervo@incauca.com

Manejo de enfermedades

Juan Carlos Ángel Sánchez[1]

Desde su selección en el año 2001, la variedad CC 01-1940 ha permanecido resistente a las enfermedades de importancia económica del cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca: el carbón (*Sporisorium scitamineum*, (Syd.) M. Piepenbr., M. Stoll & F. Oberw. 2002), la roya café (*Puccinia melanocephala*, Syd. & P. Syd. 1907), la roya naranja (*Puccinia kuehnii*, (W. Kruger) E. J. Butler. 1914) y el mosaico (SCMV, *Potyviridae*, Brandes. 1919).

En 2010 se encontró por primera vez la roya naranja en el valle del río Cauca, en las variedades susceptibles CC 01-1884 y CC 01-1866 que estaban en prueba regional junto con la CC 01-1940, variedad que desde entonces mostró su resistencia a la enfermedad. El seguimiento realizado en campos comerciales sembrados con CC 01-1940 entre 2010 y lo corrido de 2018 confirma que la variedad ha permanecido resistente a la roya naranja.

En el mismo período, la incidencia de la escaldadura de la hoja (LSD) (*Xanthomonas albilineans,* (Ashby 1929) Dowson 1943) en la variedad se ha mantenido por debajo del 0.5%, de acuerdo con los registros del Servicio de diagnóstico de enfermedades de Cenicaña.

En relación con el raquitismo de la soca (RSD) (*Leifsonia xyli* subsp. *Xyli*, (Denis *et al.*, 1984) (Evtushenko *et al.*, 2000)), la incidencia de la enfermedad en la CC 01-1940 fue el 0.1% en 2014, el 0.9% en 2015, el 1.6% en 2016 y el 0.6% en 2017.

Es importante recordar que para garantizar bajos niveles de incidencia de LSD, la producción de semilleros sanos es fundamental. Para disminuir y prevenir la incidencia del LSD y RSD se están aplicando una serie de estrategias y medidas, como: el uso del tratamiento con agua caliente (10 minutos de pretramiento a 50 °C y 1 hora de tratamiento a 51 °C) en la fuente de semilla de los semilleros básicos, los semicomerciales y los comerciales; la inspección de las variedades en el campo para detectar síntomas de la enfermedad; la practica permanente de desinfestación de la herramienta de corte, machetes y cosechadoras, con productos a base de yodo sublimado

1. Ingeniero agrónomo, M. Sc., fitopatólogo Cenicaña, jcangel@cenicana.org

al 2%; el establecimiento de semilleros sanos y el uso del Servicio de diagnóstico de enfermedades que ofrece Cenicaña para verificar la ausencia del patógeno en los semilleros.

Con respecto al virus de la hoja amarilla (SCYLV, *Luteoviridae*), Cenicaña evalúa la incidencia de la enfermedad (número de hojas positivas en cada muestra compuesta de 20 hojas) y su prevalencia (proporción en términos porcentuales de muestras enfermas con respecto al total de muestras analizadas en un determinado período, por ejemplo un año). De acuerdo con los registros del Servicio de diagnóstico, la variedad CC 01-1940 mostró incidencias de 7.2% en 2014, de 4.6% en 2015, de 11.5% en 2016 y de 10.4% en 2017, cifras que señalan un aumento en la prevalencia de la enfermedad en el valle del río Cauca.

A pesar de las campañas dirigidas al uso de semilla sana, la variedad CC 01-1940 está siendo sembrada con semilla infectada, lo que hace que la fuente de inóculo aumente debido a la presencia del áfido *Melanaphis sacchari* (Zehntner), principal vector del patógeno.

Evaluaciones experimentales acerca del efecto del SCYLV en la producción de la variedad CC 01-1940, realizados en condiciones del ingenio Providencia entre 2014 y 2016, no mostraron diferencias significativas entre los promedios de TCH y sacarosa (% caña) al comparar parcelas con diferentes porcentajes de incidencia de la enfermedad.

Para verificar estos resultados, el área de fitopatología del Programa de Variedades de Cenicaña adelanta investigaciones en varios ingenios del valle del río Cauca. El propósito es conocer la incidencia de la enfermedad y su efecto en producción en condiciones de suelos húmedos y condiciones climáticas diferentes a las que hasta ahora han sido involucradas. La experimentación se encuentra actualmente en desarrollo.

De manera adicional y considerando que la mejor estrategia para disminuir la incidencia y la prevalencia del SCYLV en la región exige el uso de semilleros limpios y libres del patógeno, Cenicaña apoya a los ingenios en la siembra de semilleros de fundación, mediante el suministro de plantas producidas por medio de cultivo *in vitro* y a través del Servicio de multiplicación y propagación de variedades. El suministro de material sano a los ingenios y a los proveedores de caña se realiza con el objetivo de reducir la incidencia y la prevalencia de la enfermedad en el valle del río Cauca.

Manejo de plagas

Germán Andrés Vargas Orozco[1]

En el manejo de todos los cultivos, el aspecto fitosanitario hace parte de la agronomía y de los factores que deben ser atendidos con el objetivo de asegurar la productividad disminuyendo el impacto económico de las plagas y las enfermedades.

Las variedades de caña de azúcar tienen una respuesta diferencial a las plagas y a las enfermedades. En las decisiones de siembra se debe tener presente la información existente acerca de la resistencia de las variedades a los factores fitosanitarios, con el fin de anticipar las medidas de control.

A continuación se describen brevemente los criterios utilizados por Cenicaña para la caracterización y la evaluación de resistencia de las variedades CC, y se dan las recomendaciones de manejo de las principales plagas de la caña de azúcar. Para el efecto, se tienen en cuenta los niveles poblacionales de las diferentes plagas y el comportamiento de las variedades; las observaciones y sugerencias de manejo se realizan para la variedad CC 01-1940.

Barrenadores del tallo, *Diatraea* spp.

En los estudios sobre la resistencia varietal de la caña de azúcar a los barrenadores pertenecientes al género *Diatraea*, el enfoque de Cenicaña ha estado orientado a la caracterización de las variedades en términos de su resistencia o susceptibilidad y no como parte de un esquema de mejoramiento varietal en el que se busque un proceso de incorporación de características de resistencia, lo que podría ser objeto de investigación a través de cruzamientos y selección de progenies resistentes. Actualmente, Cenicaña adelanta trabajos que conducirán al desarrollo de una metodología de evaluación de la resistencia a los barrenadores del tallo.

De acuerdo con lo anterior, la base de la caracterización de las variedades Cenicaña Colombia (CC) ha sido la de evaluar el daño por los barrenadores en las pruebas regionales, que son sembradas en los diferentes ingenios y

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., entomólogo Cenicaña, gavargas@cenicana.org

en donde se utiliza la metodología tradicional de determinar el porcentaje de entrenudos dañados por el barrenador.

El uso de una calificación de daño en cada prueba regional permite la obtención de un índice de resistencia, que constituye el promedio de las calificaciones de daño de cada prueba. Esta información sirve para que los agricultores e ingenios ajusten las prácticas de manejo de la plaga al momento de la siembra de una nueva variedad y, con mayor razón, cuando se trata de una variedad susceptible.

En el caso de la variedad CC 01-1940, la caracterización de variedades realizada por Gómez y Vargas (2014) la ubican en el grupo de las variedades de respuesta intermedia, lo que significa que es más resistente que las ubicadas en el grupo de las medianamente susceptibles (p. ej. CC 00-3257) o de las susceptibles (p. ej. CC 93-3826) pero más susceptible que las clasificadas en los grupos de las medianamente resistentes (p. ej. CC 85-92) y de las resistentes (p. ej. CC 93-3895).

En las áreas de cultivo, el reemplazo de variedades resistentes por variedades con menor grado de resistencia (variedades intermedias, medianamente susceptibles o susceptibles) puede llevar al incremento de los niveles de daño tanto en el campo sembrado, como en los alrededores del mismo. Cultivadores e ingenios deben tener en cuenta el comportamiento de una nueva variedad frente a la plaga y planear un programa de manejo que puede incluir un mayor número de liberaciones (**Cuadro 10**) y que asegure el seguimiento del daño al momento de la cosecha. En donde no se tiene información previa de daño para recomendar un programa de liberaciones, se propone un manejo preventivo que consiste en presumir que la variedades, en este caso CC 01-1940, puede llegar a tener fácilmente un nivel de daño entre 2.5% y 4% de entrenudos barrenados, por lo que se implementaría el plan de liberaciones correspondiente, como aparece referenciado en el Cuadro 10.

La evaluación del nivel de daño se hace en el momento de la cosecha tomando un total de 100 tallos bien distribuidos en el campo e independiente del área cosechada, siempre y cuando cada tallo haya sido tomado al azar. Acerca de cada tallo se registra el total de entrenudos y el total de entrenudos barrenados por la plaga. Al final, el porcentaje de entrenudos barrenados está dado por el total de entrenudos barrenados dividido entre el número de entrenudos totales y multiplicados por 100.

Cuadro 10. Programa de control biológico de *Diatraea* spp., de acuerdo al daño en cosecha y con base en una programación de liberaciones al siguiente ciclo de cultivo (Vargas, 2015).

Intensidad de Infestación (%)	Número de parasitoides por hectárea y época de liberación según la edad de la caña de azúcar	
0.5% a 2.5%	30 individuos *Lydella minense**	3 meses
	50 pulgadas *Trichogramma exiguum***	3 meses
2.5% a 4%	50 pulgadas *Trichogramma exiguum*	1 mes
	50 pulgadas *Trichogramma exiguum*	3 meses
	30 individuos *Lydella minense*	3 meses
	30 individuos *Lydella minense*	5 meses
	2 gramos *Cotesia flavipes****	5 meses
Más del 4% de entrenudos barrenados	50 pulgadas *Trichogramma exiguum*	1 mes
	50 pulgadas *Trichogramma exiguum*	3 meses
	30 individuos *Lydella minense*	3 meses
	30 individuos *Lydella minense*	5 meses
	2 gramos *Cotesia flavipes*	5 meses
	2 gramos *Cotesia flavipes*	7 meses

*Mosca taquínida parasitoide de larvas, **Avispita parasitoide de huevos, ***Avispita parasitoide de larvas

Salivazo, *Aeneolamia varia*

En el caso del salivazo *A. varia*, Cenicaña ha desarrollado una metodología para la evaluación de la resistencia de genotipos de caña de azúcar a las ninfas de la plaga en condiciones de invernadero (Castro *et al.*, 2011).

La variedad CC 01-1940 ha sido caracterizada como susceptible, por lo que se debe prestar mucha atención a las poblaciones de la plaga para evitar efectos negativos en la producción.

A pesar de que hasta el momento no se ha logrado estimar el impacto económico por esta plaga en las condiciones del valle del río Cauca, se tiene como referencia el caso de Venezuela, donde el impacto se ha estimado en un 25%, incluido el efecto en campo y en fábrica (Salazar y Proaño, 1989). Durante el brote de la plaga en el valle del río Cauca en el año 2007, se observaron efectos negativos en la producción de hasta un 20% en el peso de la caña.

Los niveles de población del salivazo que se consideran críticos corresponden a un nivel mayor de 100 adultos/trampa/semana o cuando se encuentran más de 0.2 salivas/tallo o bien 0.2 adultos/tallo. Se debe señalar que en la propuesta de Gómez (2007), se sugiere un nivel crítico de 50 adultos por

trampa por semana; sin embargo, observaciones de campo han mostrado que esta población no es suficiente para que cause un daño evidente en el cultivo.

Para el monitoreo de las poblaciones del salivazo se recomienda el establecimiento de trampas en forma permanente, hechas con plástico amarillo y con pegante, a razón de una trampa cada 20 hectáreas. Las trampas deben ser revisadas cada semana. De acuerdo con los hallazgos se programan las acciones de control (**Cuadro 11**).

Cuadro 11. Criterios para definir las acciones a tomar con respecto al salivazo *Aeneolamia varia* combinando los niveles de población en trampa pegajosa amarilla y conteos de salivas/adultos por tallo, considerando que el control se ejecutaría en caso de que alguno de los dos escenarios se presente.

Número de adultos por trampa pegajosa por semana	Número de salivas o adultos / tallo	Acciones a tomar en caso de que alguno de los dos indicadores se presente
0-30	0.0-0.05	Mantener 1 trampa por 20 ha.
31-49	0.05-0.1	Para la detección de los focos de infestación, ubicar 2 trampas por hectárea. Luego, en los focos ubicar 20 trampas por hectárea como control. En estas trampas no se debe hacer conteos, pero sí el mantenimiento del pegante. Mantener hasta retornar al nivel anterior.
50-99	0.1-0.19	Realizar aplicaciones de entomopatógenos *Metarhizium anisopliae*, Cepas CeMa 9236, CCMa 0906, en una dosis de 2 kg por ha. Si la edad del campo lo permite (<2 meses), realizar aporque.
≥100	≥0.2	Realizar aplicaciones de insecticida químico (tiametoxan o imidacloprid) en la dosis respectiva de cada producto. Si la edad del campo lo permite (<2 meses) realizar aporque. En caso de ataque severo al follaje, se recomienda incrementar la fertilización nitrogenada.

Cuando las poblaciones se presentan por encima de 30 adultos por semana por trampa, se recomienda la instalación de dos trampas por hectárea (cada 150 metros) en el área detectada con esta población. Si en estas trampas se detectan poblaciones entre 31 y 49 adultos por semana, se instalan 20 trampas por hectárea como control en el área detectada con la alta población. Todo esto hasta retornar a niveles inferiores a 30 adultos por trampa por semana.

En las 20 trampas por hectárea no es necesario realizar conteos, ya que su función es de control y no de monitoreo. Se debe hacer mantenimiento del pegante, que debe ser colocado en toda la extensión del plástico amarillo, excepto en cinco centímetros de borde para evitar la captura del insecto benéfico depredador de ninfas de salivazo, *Salpingogaster nigra*.

El nivel crítico de población del salivazo para la aplicación de hongos entomopatógenos se ha determinado en capturas superiores a 50 adultos por trampa y semana. Para la aplicación de insecticidas químicos, el nivel crítico es de 100 adultos o más por trampa y semana. Es importante recalcar que en cada observación y conteo de adultos se debe hacer una remoción de los adultos contados, cuando son pocos, o reemplazar la trampa.

Con respecto al muestreo de ninfas, se toman dos puntos por hectárea. En cada punto de observación se selecciona una cepa (o un metro lineal) al azar, en donde se cuenta el número de adultos, el número de salivas y el número de tallos.

Cuando la población de salivas o adultos por tallo se encuentra por encima de un valor de 0.05 se recomienda la instalación de 20 trampas por hectárea para el control en las áreas detectadas como focos de infestación. En las 20 trampas no se requieren los conteos; su función es de control y debe hacerse el mantenimiento del pegante. Las trampas de control se mantienen hasta retornar a niveles inferiores a 0.05 salivas o adultos por tallo. En el caso de que las poblaciones se encuentren en niveles superiores a 0.1 adultos o ninfas por tallo se recomienda la aplicación de entomopatógenos, en particular las cepas CeMa 9236 o CCMa 0906 del hongo *Metarhizium anisopliae* a razón de 2 kg por hectárea. Si el número de adultos, ninfas o espumas por tallo es superior a 0.2, se recomienda la aplicación de insecticidas químicos.

En las pruebas realizadas en 2007, cuando se presentó el brote de *A. varia* en el valle del río Cauca, las moléculas que en ese momento ofrecieron mejor control de la plaga fueron tiametoxam (500 g/ha) e imidacloprid (365 cc/ha). Se debe señalar que la aplicación tanto de hongos como de insecticidas químicos requiere el ajuste de factores de tecnología de aplicación: la calidad del agua de garantiza pH inferior a 6 y dureza inferior a 120 ppm), el uso de boquillas de cono y, el requisito de que la humedad en el suelo se encuentre en condiciones de capacidad de campo.

Otros insectos plaga

A pesar de que Cenicaña no ha realizado evaluaciones acerca de la resistencia de la variedad CC 01-1940 a otros insectos plaga, la información comercial recolectada en campos de agricultores e ingenios ha mostrado que la variedad es atacada frecuentemente por el picudo negro, *Rynchophorus palmarum*. La captura masiva del picudo negro es la única manera disponible en el momento para reducir las poblaciones de la plaga, tanto en caña de azúcar como en palma de aceite.

En el caso de caña de azúcar, el picudo negro causa daños al atacar la semilla vegetativa o las cepas de las socas. A pesar de que en las condiciones del valle del río Cauca no se han demostrado efectos negativos en la producción, las áreas cosechadas en verde han sido asociadas con la proliferación del picudo rayado, *Metamasius hemipterus*, y se prevé que ocurra de igual forma un aumento de *R. palmarum*.

De acuerdo con sus investigaciones, Cenicaña recomienda el uso de trampas de guadua y en su interior, trozos de tallos de caña machacados como atrayente; semanalmente se recogen los adultos capturados. Sin embargo, últimamente se está recomendando una trampa desarrollada en Costa Rica para la captura del insecto en palma de aceite e implementada en Colombia por Cenipalma (Aldana *et al.* 2011). Además de utilizar trozos de caña de azúcar en el interior del recipiente de un plástico, la trampa emplea una feromona de agregación que es producida por el macho.

Las trampas con la feromona están siendo utilizadas por varios ingenios azucareros en el valle del río Cauca para el control de *R. palmarum* y se ha constatado que su uso resulta en una captura numerosa de adultos. Requiere la recolección periódica de los insectos y el mantenimiento de trozos de caña machacados y frescos en su interior, los cuales se deben renovar al menos una vez por semana; de lo contrario no se pueden considerar como una alternativa de control. En el caso de los cultivos de caña de azúcar, se recomienda utilizar dos trampas por campo para monitoreo. Cuando se superan los 100 individuos por semana o cuando se tienen cortes de semilla o siembras, se recomienda ubicar dos trampas por hectárea en una periferia distante (aproximadamente 40 metros) del lote en cuestión.

También se ha encontrado que lotes comerciales con la variedad CC 01-1940 son atacados con mayor frecuencia por el pulgón amarillo, *Sipha flava*,

que puede llegar a causar reducciones en la producción si no es controlado oportunamente. Igual situación se ha observado con el pulgón gris, *Melanaphis sacchari*, vector del virus de la hoja amarilla. Para ambas plagas, la evaluación de las hojas infestadas se hace en campos con edades inferiores a los cinco meses, tomando 100 puntos al azar por suerte en donde, en un tallo, se evalúan las 4 primeras hojas a partir de la TVD (primera hoja con el cuello visible). Una hoja se considera infestada cuando tiene al menos dos pulgones. Se debe verificar que los evaluadores separen el pulgón amarillo del pulgón gris.

Para el manejo de ambas especies de pulgón se deben seguir las recomendaciones sugeridas en el **Cuadro 12**. En el caso de tener que recurrir a la aplicación del insecticida, se puede delimitar el foco de ataque y aplicarlo solamente en esa área. Para esto se debe mapear la evaluación. Si resulta necesario realizar aplicaciones de insecticidas químicos, se debe ajustar el equipo de aplicación a una boquilla apropiada para la aplicación de insecticidas (usualmente de cono), chequear la calidad del agua (pH <7 y dureza <120 ppm) y suministrar el equipo de seguridad apropiado al personal que ejecutará la labor.

Cuadro 12. Recomendaciones para el manejo del pulgón amarillo en caña de azúcar de acuerdo con el porcentaje de hojas infestadas.

Hojas infestadas (%)	Acciones a tomar para el manejo de los pulgones
≤15%	Seguir evaluando semanalmente para establecer si se presenta aumento o disminución de población.
16-29%	Evaluar a la semana siguiente. Si la infestación aumenta, se debe aplicar un correctivo químico (tiametoxam, 150-250 gramos / hectárea; imidaclopid 0.5-1 L/ha). Si la infestación disminuye o se mantiene igual, se debe seguir evaluando semanalmente y no aplicar correctivos químicos. En cultivos de caña de azúcar menores a cinco meses de edad, un riego por aspersión de una lámina de 45 mm o una lluvia de igual cantidad de agua puede ser un buen método de control.
≥30%	Aplicar correctivo químico y verificar la efectividad del control mediante una evaluación a la semana siguiente. En cultivos de caña de azúcar menores de cinco meses de edad, un riego por aspersión de una lámina de 45 mm o una lluvia de igual cantidad de agua puede ser un buen método de control.

Maduración

Fernando Villegas Trujillo[1]

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 debido a que las variedades pueden tener diferentes 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 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 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 el crecimiento de la planta. El balance entre la producción y el uso se refleja en el contenido de sacarosa de la caña de azúcar. En las regiones tropicales, la humedad es esencial para 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, con frecuencia durante el período de maduración, estas condiciones no se producen al mismo tiempo o no alcanzan a tener la magnitud suficiente para producir el efecto esperado. En tales situaciones, el uso de maduradores es conveniente para aumentar la productividad, como parte del manejo del cultivo dentro del sistema de producción actual.

1. Ingeniero agrícola, M. Sc., ingeniero de mecanización agrícola Cenicaña, fvillegas@cenicana.org

El uso de maduradores en el sistema de producción de caña de azúcar permite una mayor recuperación de sacarosa al momento de la cosecha, y por consiguiente los maduradores promueven la industrialización de una materia prima de mejor calidad. Sin embargo, la viabilidad de la utilización del madurador depende de un número de factores, incluyendo variables climáticas, técnicas y económicas, pero especialmente, la viabilidad depende de las respuestas diferenciales que cada variedad puede ofrecer a esta práctica de cultivo. Para evaluar la maduración de esta variedad, se establecieron experimentos en diferentes zonas agroecológicas del valle del río Cauca, especialmente en las zonas húmedas para las cuales fue seleccionada la variedad. Sin embargo, se incluyeron también zonas semisecas en las cuales se está propagando aceleradamente por su alta producción de caña, no así de sacarosa.

Maduración natural

Las evaluaciones en ambientes húmedos muestran que, en igualdad de condiciones, la maduración de la variedad CC 01-1940 generalmente se produce de forma similar a la variedad CC 85-92, con la cual se comparó. En ocasiones, la variedad supera a la CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y en otras puede ser inferior, dependiendo de las condiciones ambientales, que varían de un corte a otro. Así, por ejemplo, en una zona agroecológica 5H5 del norte del valle del río Cauca, la sacarosa (% caña) de la CC 01-1940 fue superior al de la CC 85-92 en cuatro cortes consecutivos evaluados en este lugar (**Figura 16**). Solamente en la plantilla se observaron valores de sacarosa (% caña) inferiores antes de los 12.3 meses de edad, pero posteriormente la CC 01-1940 igualó y superó la sacarosa (% caña) de la variedad CC 85-92. No obstante, aún con sacarosa (% caña) inferior, la CC 01-1940 puede tener contenidos de sacarosa totales por tallo superiores a la CC 85-92, debido a que normalmente tiene un tallo de mayor tamaño y peso. Se debe anotar que, en la evaluación de la maduración de la segunda soca en este sitio, se pudo apreciar claramente la caída de la sacarosa que se produjo a partir de marzo de 2016 y que fue general en todo el sector.

En una zona agroecológica 5H3, también del norte del valle del río Cauca, la maduración fue diferente, en el sentido que, durante la plantilla, la sacarosa (% caña) fue inferior en la CC 01-1940 y sólo igualó a la CC 85-92 al cabo de los 14.7 meses (**Figura 17**). En la primera soca, la sacarosa (% caña) en la CC 01-1940 fue inferior entre los 11 y 12.5 meses, pero posteriormente

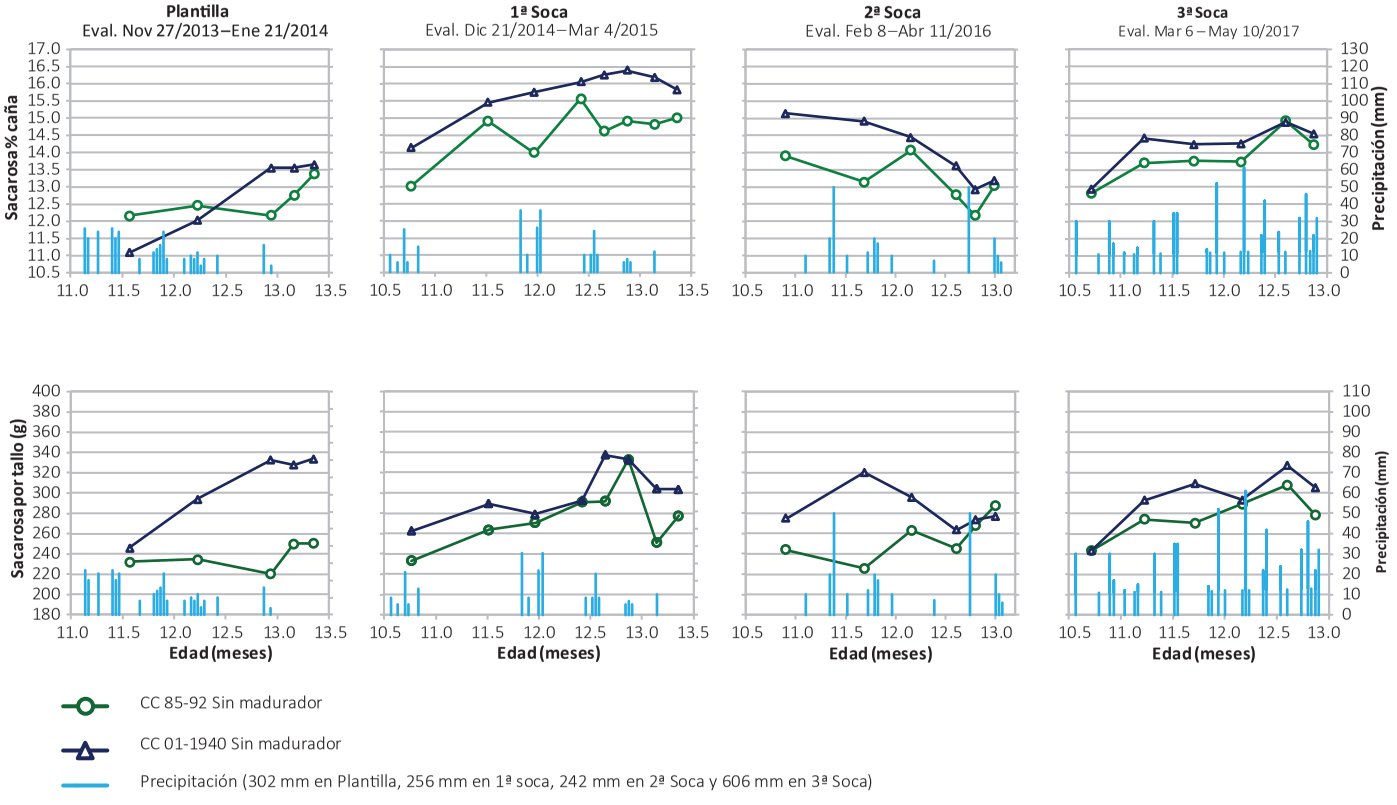


Figura 16. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante cuatro cortes consecutivos, en el ambiente húmedo del norte del valle del río Cauca – Z.A. 5H5.

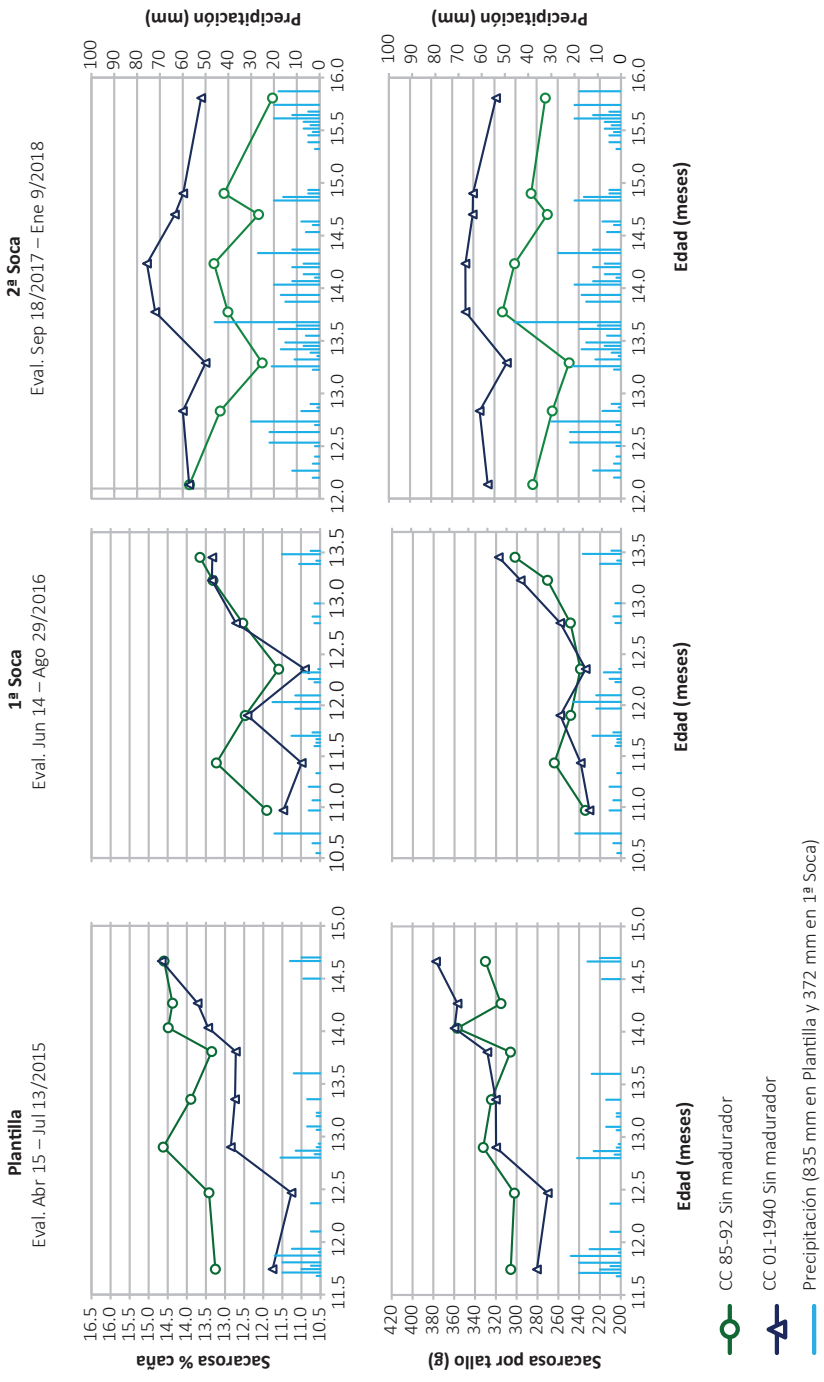


Figura 17. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante tres cortes consecutivos, en el ambiente húmedo del norte del valle del río Cauca – Z.A. 5H3.

presentó valores similares a los de la CC 85-92. En la segunda soca ambas variedades presentaron valores similares de sacarosa (% caña) a los 12 meses de edad pero posteriormente, la CC 01-1940 superó a la CC 85-92 durante los cuatro meses siguientes, período que tuvo una abundante precipitación (572 mm en cuatro meses). Esta información muestra que, en condiciones de alta humedad, la CC 01-1940 tiene una mayor capacidad de producción de sacarosa que la CC 85-92, tal como lo muestra la variable Sacarosa por tallo, en la misma figura.

La evaluación de la maduración durante tres cortes en una zona húmeda (Z.A. 5H3) de la región centro norte del valle del río Cauca mostró que ambas variedades tuvieron valores muy similares de sacarosa (% caña) y contenidos de sacarosa en los tallos (**Figura 18**). Se destaca que al final del período de maduración de la segunda soca hubo condiciones de precipitación, posterior a un período seco, que disminuyeron el contenido de sacarosa en la variedad CC 85-92, pero no afectaron a la CC 01-1940.

Una situación especial se registró en la zona agroecológica 8H3 en la región sur del valle del río Cauca en donde se evaluó la maduración de la plantilla de las dos variedades desde los 11.6 meses hasta los 16.3 meses de edad. En este sitio se destacaron los altos valores de sacarosa (% caña) alcanzados con ambas variedades en un ambiente de abundante precipitación; 835 mm en los 4.7 meses de evaluación. La CC 01-1940 alcanzó valores de 17.2 % de sacarosa (% caña) alrededor de los 15 meses de edad y desde los 12.5 meses superó a la CC 85-92 que alcanzó su mayor valor de sacarosa de 16.7%, alrededor de los 15.3 meses de edad (**Figura 19**). En la primera soca, en el mismo sitio y con menos precipitación en la fase de maduración, el comportamiento fue completamente diferente, ya que la sacarosa (% caña) de la CC 01-1940 estuvo siempre por debajo de la CC 85-92, al menos hasta los 14.5 meses de edad, cuando concluyó la evaluación. Sin embargo, el contenido de sacarosa en gramos por tallo, fue muy similar entre las dos variedades, inclusive, un poco superior en la CC 01-1940.

La maduración de la variedad CC 01-1940 en zonas húmedas es muy variable y depende mucho de las condiciones ambientales del sitio en donde se siembra; estas condiciones varían a través de los cortes y en general se observa que entre mayor sea la condición de humedad, la variedad parece madurar mejor.

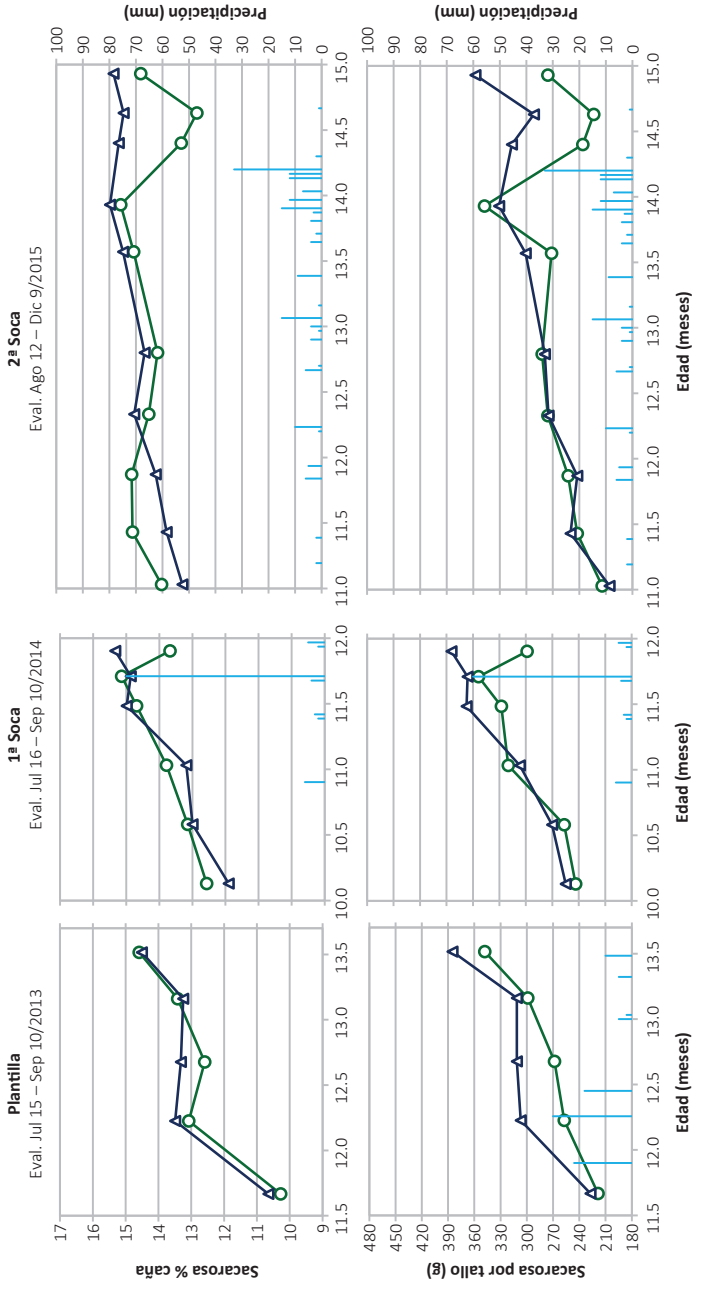


Figura 18. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante tres cortes consecutivos, en el ambiente húmedo del centro del valle del río Cauca – Z.A. 5H3.

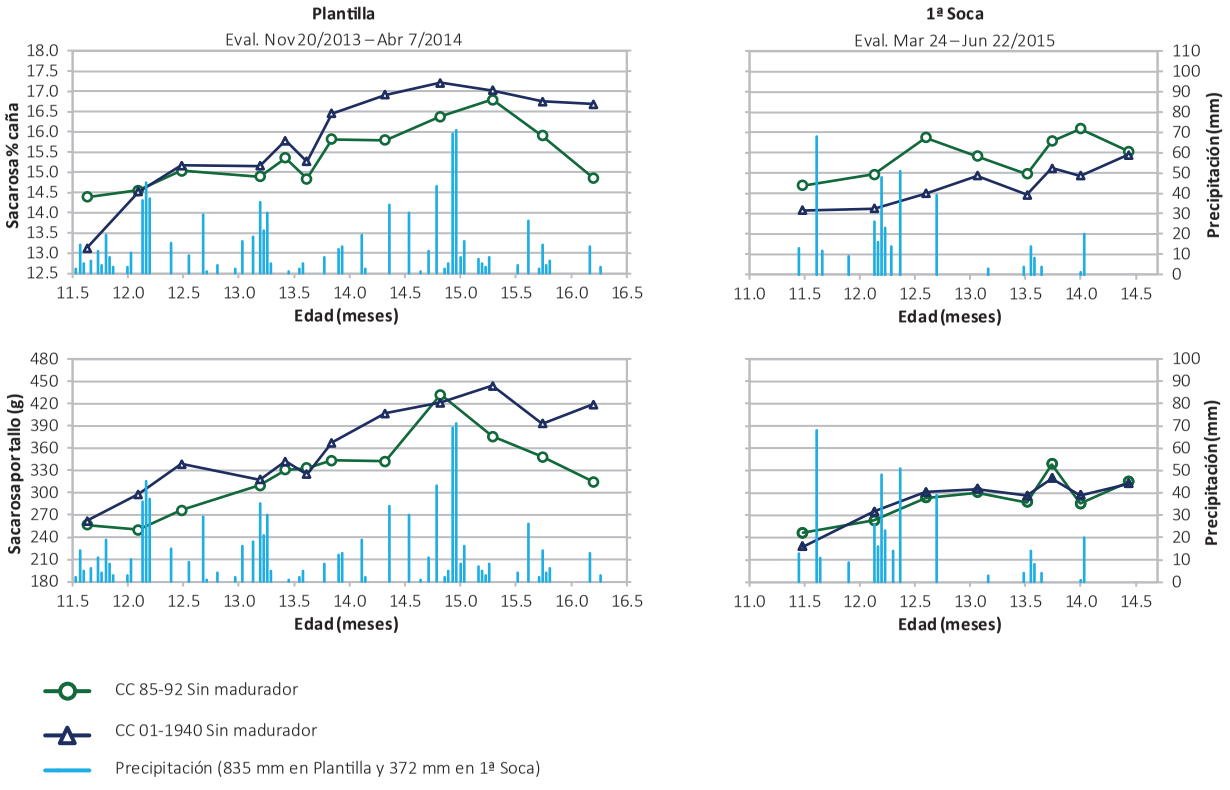


Figura 19. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante dos cortes consecutivos, en el ambiente húmedo del sur del valle del río Cauca – Z.A. 8H3.

Aunque la variedad CC 01-1940 fue recomendada inicialmente para ambientes húmedos, la han sembrado también en ambiente semiseco debido a su alta producción de caña. Una evaluación de la maduración de esta variedad en la región centro-sur del valle del río Cauca, zona agroecológica 23H1 del ambiente semiseco, mostró que la sacarosa (% caña) de esta variedad fue ligeramente inferior entre los 12.2 y los 14 meses en la plantilla, pero en la primera y segunda socas, la sacarosa (% caña) fue muy similar en las dos variedades (**Figura 20**).

También en ambiente semiseco de la región centro del valle del río Cauca se evaluó la maduración de una primera soca de la variedad CC 01-1940 comparada con las variedades CC 93-4418 y CC 98-72 y en condiciones de muy baja precipitación. La sacarosa (% caña) de la CC 01-1940 fue similar a la CC 98-72, pero fue ligeramente inferior a la CC 93-4418 hasta los 12.5 meses de edad pero posteriormente la superó. Sin embargo, el contenido de sacarosa por tallo de la variedad CC 01-1940 superó a las otras dos variedades durante todo el período de evaluación (**Figura 21**).

En las zonas semisecas en donde existía mayor temor que la variedad produjera mucha caña con bajos contenidos de sacarosa, se ha encontrado que ella puede madurar en forma similar a la CC 85-92 y a otras variedades, siempre que se le proporcionen las condiciones para una buena maduración, como son el agostamiento y la aplicación controlada de nitrógeno para evitar el crecimiento excesivo de los tallos durante la fase de maduración.

Maduración inducida

La aplicación de maduradores en caña de azúcar es una práctica usual en muchas zonas azucareras del mundo y especialmente en el valle del río Cauca, donde las condiciones agro-climatológicas permiten obtener muy buena respuesta de la caña a su uso. La mayoría de los productos maduradores son reguladores de crecimiento y como consecuencia de este efecto primario, permiten obtener un mayor contenido de sacarosa en los tallos al momento de la cosecha.

La respuesta a los maduradores depende de muchos factores, no todos ellos estudiados completamente, pero por lo general se acepta que depende en gran parte de la condición del cultivo al momento y después de la aplicación y está muy influenciada por la variedad. En el caso de la CC 01-1940 en la

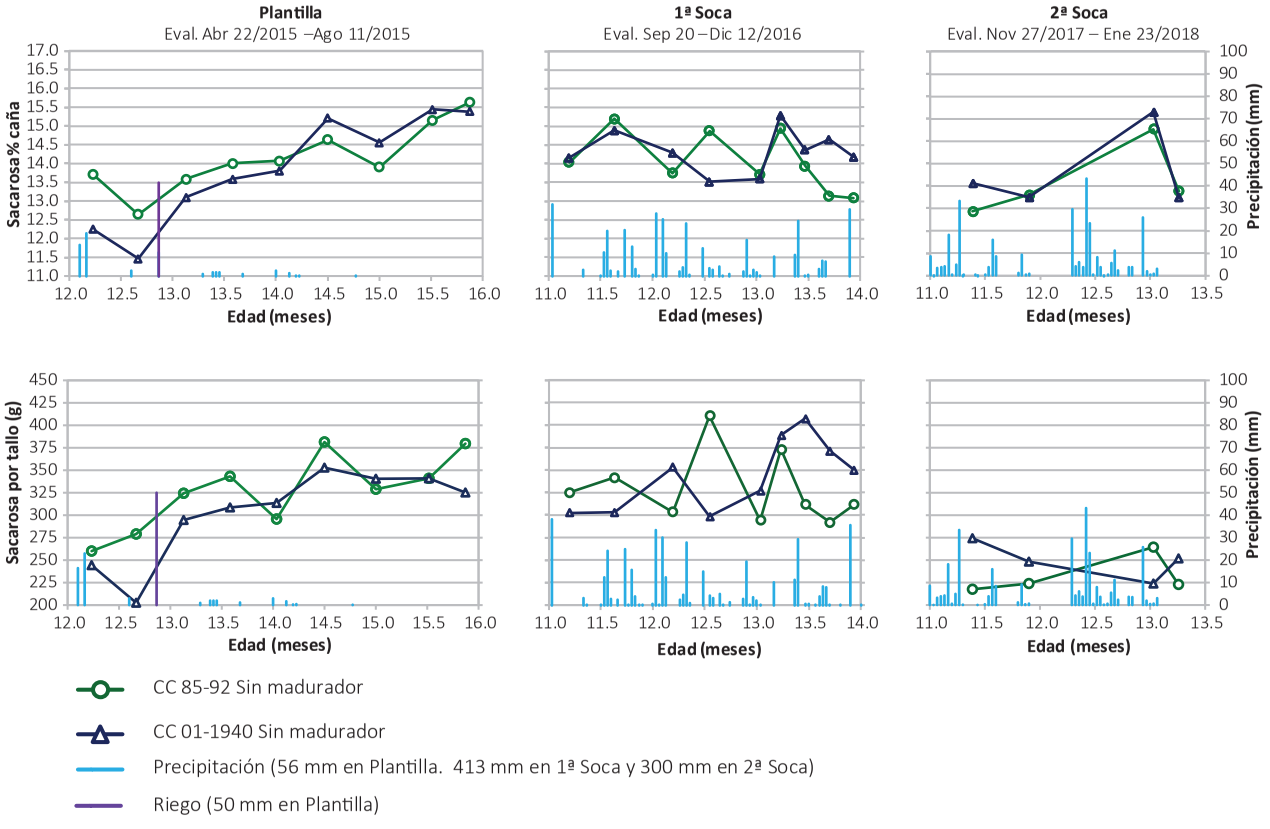


Figura 20. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante tres cortes consecutivos, en el ambiente semiseco del centro-sur del valle del río Cauca – Z.A. 23H1.

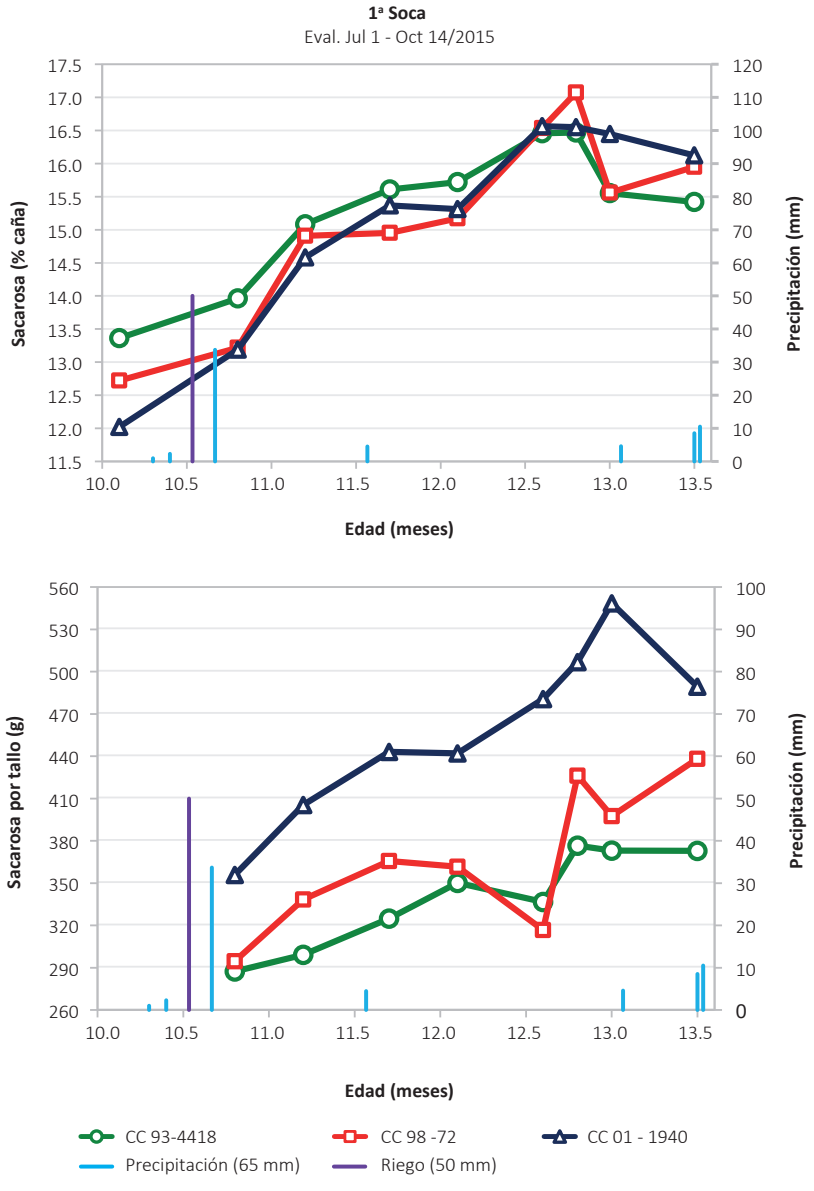


Figura 21. Maduración de las variedades CC 93-4418, CC 98-72 y CC 01-1940 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo en el ambiente semiseco del centro del valle del río Cauca – Z.A. 11H0.

mayoría de los casos se ha obtenido buena respuesta, pero también hay casos en los cuales la respuesta ha sido poca.

La **Figura 22** muestra la respuesta de la variedad CC 01-1940 en ambiente húmedo del sur del valle del río Cauca. La plantilla respondió bien a una dosis alta de madurador (Glifosato SG 800 g/ha) mientras que la CC 85-92 respondió mejor a una dosis más baja (Glifosato SG 500 g/ha), lo cual confirma que la CC 01-1940 es una variedad resistente al madurador, mientras que la CC 85-92 es bastante susceptible. Inclusive, la dosis de 500 g/ha pudo haber sido un poco alta para esta variedad. El efecto del madurador en ambas variedades empezó a notarse desde la semana tres después de la aplicación y se mantuvo hasta la semana 15, pero los mayores efectos se observaron entre las semanas tres y 11 después de la aplicación, con incrementos que variaron entre 0.7 y 2.3 unidades porcentuales en la variedad CC 85-92 y entre 0.75 y 1.5 en la CC 01-1940.

También en ambiente húmedo, pero en este caso en el norte del valle del río Cauca, se obtuvo una buena respuesta de la variedad CC 01-1940 a una dosis de 500 g/ha de Glifosato SG, la misma que se aplicó a la CC 85-92 (2ª Soca) y aunque esta última mostró un incremento importante en la sacarosa (% caña), con incrementos hasta de 1.5 unidades porcentuales con respecto al testigo sin aplicación, la dosis fue alta porque afectó demasiado el crecimiento y peso de los tallos y finalmente el contenido de sacarosa del tallo no mostró mayor incremento (**Figura 23**).

En el ambiente semiseco, la CC 01-1940 requirió una dosificación mayor, debido a una mayor producción de biomasa y en esas condiciones la variedad CC 01-1940 respondió bien a una dosis de 1000 g/ha de Glifosato SG, tanto en plantilla como en primera soca. Se lograron aumentos en sacarosa (% caña) cercanos a las dos unidades porcentuales en la plantilla, especialmente en la semana siete después de la aplicación (**Figura 24**). En el caso de la 1ª soca, se obtuvieron aumentos cercanos a 1.6 unidades porcentuales de sacarosa con respecto al tratamiento sin aplicación, que equivaldrían a 16 kg más de azúcar por tonelada de caña molida. Este aumento estuvo favorecido por valores bajos de temperatura mínima que se registraron en una parte del período de evaluación.

Actualmente en Colombia, los ingredientes activos de los reguladores de crecimiento que cuentan con registro como maduradores de caña de azúcar, son solamente tres: Glifosato, Fluazifop-p-butil y Trinexapac etil. Después de 25 años

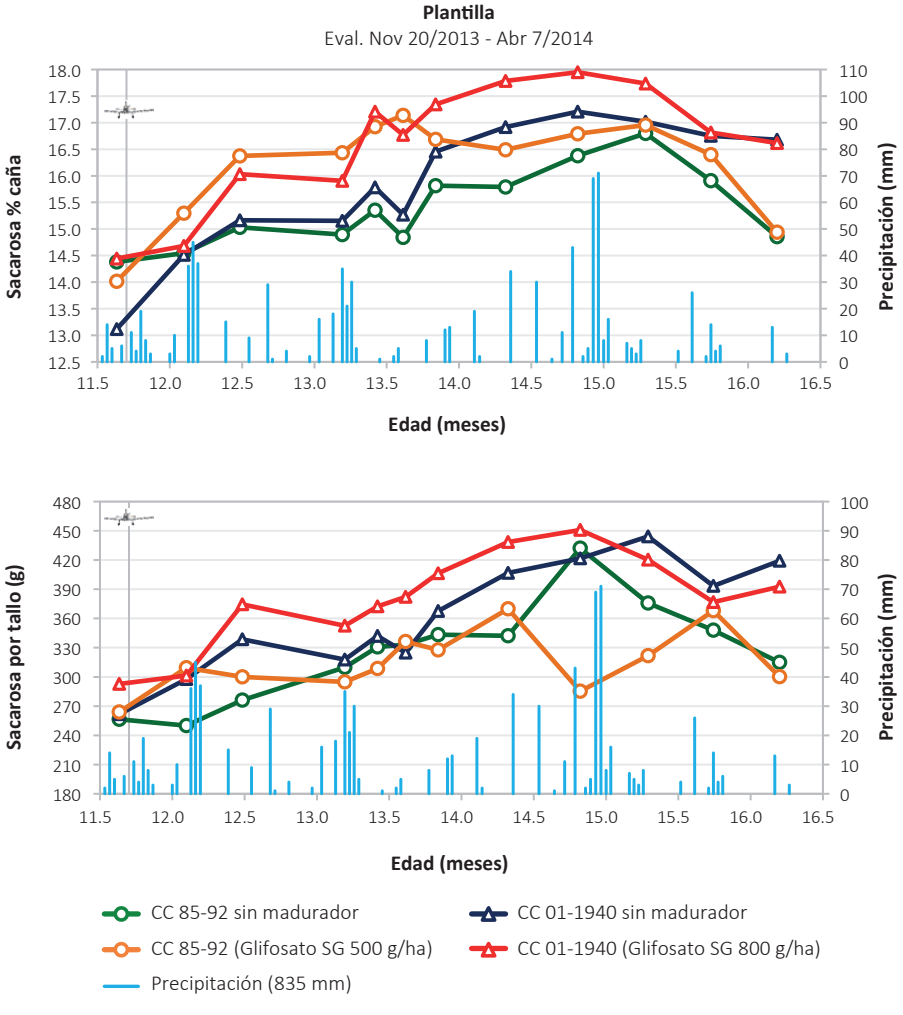


Figura 22. Respuesta de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 al madurador en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo en el ambiente húmedo del sur del valle del río Cauca – Z.A. 8H3.

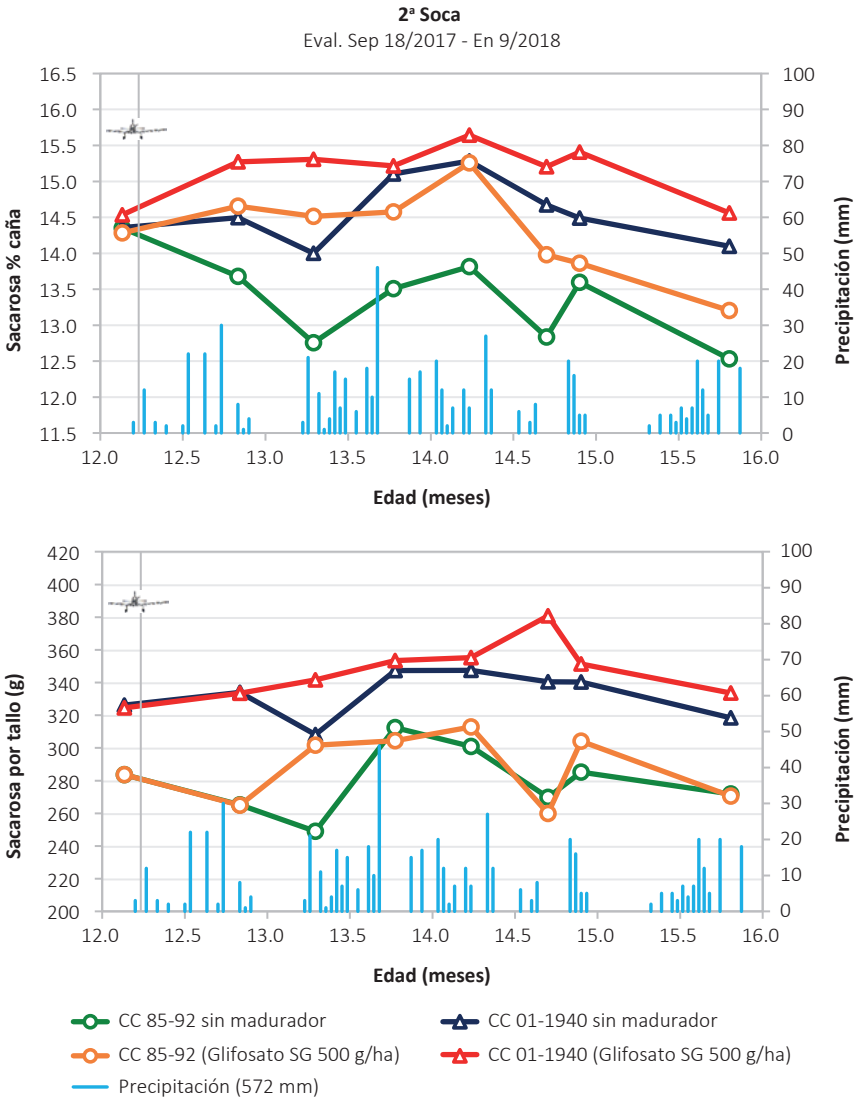


Figura 23. Respuesta de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 al madurador en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo en el ambiente húmedo del norte del valle del río Cauca – Z.A. 5H3.

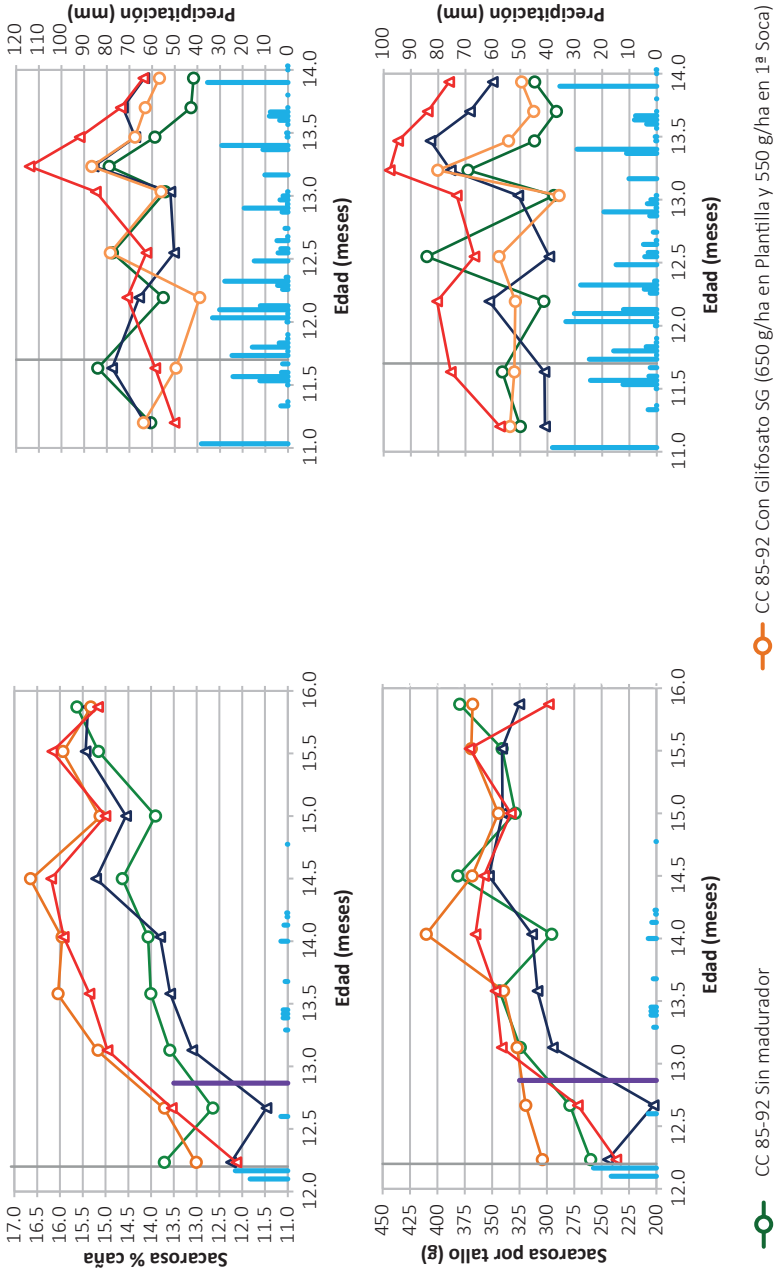


Figura 24. Respuesta de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 al madurador en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo en el ambiente semiseco del centro-sur del valle del río Cauca – Z.A. 23H1.

de aplicaciones comerciales, las dosis de los productos y los volúmenes de la mezcla se han ajustado de acuerdo con los resultados de la investigación y las experiencias de los ingenios; la dosis del madurador se determina con base en la variedad, el estado de desarrollo del cultivo y la condición de humedad prevista entre la aplicación y la cosecha (**Cuadro 13**).

La variedad CC 01-1940 ha crecido aceleradamente en área sembrada y seguramente seguirá creciendo hasta llegar a desplazar del primer lugar a la variedad CC 85-92. Las investigaciones realizadas han permitido conocer mejor la maduración de la variedad CC 01-1940 para recomendar a los Ingenios y cultivadores que no se debe cosechar a edades inferiores a los 12.5 meses y cuando se le aplica madurador debe incluir dosis superiores a las que se aplican en CC 85-92, ya que la CC 01-1940 es más resistente al madurador y generalmente presenta mayores producciones de caña. De esta forma se puede contar con una variedad que permite no sólo aumentar la producción, sino también la rentabilidad del sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia.

Cuadro 13. Dosis de madurador por cada 100 toneladas de caña[1] para las principales variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Variedad	Humedad disponible[2] entre la aplicación y la cosecha							
	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
	Glifosato SL[3]		Glifosato SG[4]		Fluazifop[5]		Tri-nexapac-etil[6]	
CC 85-92	0.7	0.9	0.30	0.38	0.4	0.5	0.5	0.6
CC 84-75 CC 98-72	0.8	1.0	0.34	0.42	0.5	0.6	0.6	0.7
CC 93-4181 CC 93-4418 CC 10-450	1.0	1.3	0.42	0.55	0.6	0.7	0.7	0.8
CC 01-1228 CC 01-1940 CC 09-874 CC 11-600	1.3	1.6	0.55	0.68	0.7	0.8	0.9	1.1

1. Involucra tipo de suelo, precipitación estimada y aportes del nivel freático.
2. 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
3. Dosis en kg/ha de productos comerciales como Round-up 747 y Agrogen 747.
4. Dosis en L/ha de productos comerciales como Fusilade.
5. Dosis en L/ha de productos comerciales como Bonus y Tronnuspac.

Evaluación de la estabilidad de la variedad CC 01-1940 a través de pruebas regionales en ambientes húmedos

Fredy Antonio Salazar Villareal[1], Luis Orlando López Zúñiga[2], Jorge Ignacio Victoria Kafure[3], Hernando Rangel Jiménez[4]

El Programa de Variedades de Cenicaña cuenta con cuatro áreas de investigación orientadas al desarrollo de variedades que satisfagan los requerimientos de la industria azucarera de Colombia, en cuanto a la producción de azúcar, alto tonelaje de caña y tolerancia genética a las principales enfermedades e insectos plagas que son predominantes en el área de siembra. Cuenta con tres líneas de investigación que produce constantemente variedades, con adaptación específica a ambientes semisecos, húmedos y de piedemonte que están presentes en la región productora de caña de azúcar de Colombia. El proceso de obtención de una nueva variedad en promedio tiene una duración entre 10 y 12 años, a partir del momento que se hace la selección de los progenitores y se programa el cruzamiento hasta que termina en las pruebas regionales.

En la parte final del proceso de desarrollo y selección de una nueva variedad se hacen las pruebas regionales en donde se siembran las variedades promisorias de cada serie de selección en parcelas de 1000 m^2, en zonas agroecológicas representativas de cada uno de los ambientes de selección. Desde el año 2000, Cenicaña orienta su programa de mejoramiento a la producción y obtención de las nuevas variedades bajo el concepto de Agricultura Específica por Sitio (AEPS®), lo cual implica hacer selección de variedades con adaptación específica a las principales zonas agroecologías que impactan significativamente la industria azucarera. El proceso de desarrollo y obtención de nuevas variedades es lento y costoso; y por eso, además de hacer la siembra de las variedades en múltiples ambientes, es necesario

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., fitomejorador Cenicaña, fsalazar@cenicana.org
2. Ingeniero agrónomo, Ph. D., fitomejorador Cenicaña, lolopez@cenicana.org
3. Ingeniero agrónomo, Ph. D., exdirector Programa de Variedades Cenicaña, joivika@gmail.com
4. Ingeniero agrónomo, Ph. D., exfitomejorador Cenicaña, hernando.rangel@hotmail.com

el uso de diseños experimentales apropiados y técnicas de análisis que permitan hacer la estimación del potencial genético de las variedades para hacer las predicciones del comportamiento a través de múltiples ambientes de producción (Yan & Tinker, 2006).

Las variedades obtenidas a través de los diferentes estados de selección se evalúan en pruebas regionales establecidas en múltiples ambientes (MET), con el fin de identificar los cultivares y sitios superiores. Sin embargo, las interacciones entre variedad y ambiente son inevitables (Annicchiarico, 2009). Estas son las responsables de enmascarar el verdadero potencial genético de las variedades, llevando en la mayoría de los casos a la toma de decisiones equivocadas en la selección de variedades, sobre todo cuando esta se hace con base en la información visual o en datos de campo de un solo sitio. Las metodologías usadas para la estimación de las interacciones van desde el uso de metodologías paramétricas (univariadas y multivariadas) hasta las no paramétricas (Farshadfar, *et al.*, 2013). Varias metodologías multivariadas o paramétricas han sido propuestas para explorar la interacción Genotipo por Ambiente (GE), incluyendo el análisis de componentes principales (PCA), efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI) y el de la regresión Genotipo por la interacción Genotipo por Ambiente (GGE) (Yan *et al.*, 2000).

El presente trabajo tuvo como objetivo hacer la evaluación agronómica y de productividad de las variedades promisorias de la serie de selección del 2001, a través de pruebas regionales y determinar la estabilidad de estas y predecir las diferentes zonas de adaptación acorde con el concepto de AEPS.

Materiales y métodos

En el **Cuadro 14**, se muestran las cinco variedades de la serie 2001 y la variedad CC 85-92 usada como testigo. La prueba regional fue sembrada en un diseño de bloques completos al azar y tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de seis surcos con longitudes entre 55 m y 100 m, y distancias entre surcos de 1.50 m y 1.75 m. El experimento fue sembrado en colaboración con siete ingenios azucareros, buscando que en cada sitio experimental quedara representada su principal zona agroecológica (**Cuadro 15**).

Entre los años 2009 y 2010, las variedades élites de las series de selección 2001 fueron evaluadas en la prueba regional 2001. La prueba fue sembrada

Cuadro 14. Variedades, pedigrí y origen del cruzamiento planeado, evaluadas en la prueba regional de la serie 2001.

Variedad	Pedigrí	Origen
CC 01-1817	(CC 92-2965 x CP 82-1995)	351CNC99
CC 01-1866	(CC 87-117 x ?)	197CNC99
CC 01-1884	(CC 87-117 x ?)	187CNC99
CC 01-1922	(CCSP 89-1997 x CC 91-1465)	386CNC99
CC 01-1940	(CCSP 89-1997 x ?)	414CNC99
CC 85-92	(Co 775 x ?)	2016CNC84

en siete localidades del sector azucarero del valle del río Cauca, específicamente en los Ingenios Incauca (CA), La Cabaña (CB), Riopaila Castilla (Castilla (CC) y Riopaila (RP), Carmelita (CM), Sancarlos (SC) e ingenio Risaralda (RS). Se evaluaron las variedades CC 01-1817, CC 01-1866, CC 01-1884, CC 01-1922, CC 01-1940 y el testigo CC 85-92, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las variables sacarosa (% caña), toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de sacarosa por hectárea (TSH) fueron determinadas.

Para la comparación de medias se utilizaron los análisis estadísticos de Diferencia Mínima Significativa (DMS), (Williams & Abdi, 2010), y la prueba de Dunnett, (1964). Ambas con una probabilidad de significación del 5%, (Delgado, 2001). En los dos análisis fue usado el procedimiento Glimmix del paquete estadístico SAS, (SAS, 2014).

La evaluación de la interacción variedad x localidad se hizo con el modelo de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas, AMMI (Adittive Main Effects and Multiplicative Interaction), el cual combina el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos principales con un análisis de componentes principales (PCA) para la interacción de genotipo por localidad (Gauch, 1992; Gauch & Zobel, 1996; Gauch, 2007) y se usó el procedimiento IML del paquete estadístico SAS, (SAS, 2014b).

Cuadro 15. Ingenios, hacienda, suerte, zona agroecológica e indicadores de productividad de 10 sitios (7 ingenios) en donde fue evaluada la prueba regional con variedades de la serie 2001 para ambientes húmedos.

Ingenio	Hacienda	Suerte	ZA	Consociación	Corte	Loc	MDS	Sacarosa (% caña)	TCH	TAH	TSH	TCHM	TAHM	TSHM
								Media p	Media p	Media p	Media p	Media p	Media p	Media p
CA	Cachimbalito	24Z	5H5	Rio de Janerio (RJ). Chromic Endoaquerts	1	CA1-5H5	14.2	14.81 ns	111.9 **	14.21 **	16.54 **	7.90 **	1.00 **	1.17 **
CB	La Cabaña	25D	10H4	Ballesteros (BL). Typic Endoaquerts	1	CB1-10H4	11.5	11.66 **	124.1 *	11.10 *	14.50 **	10.79 *	0.97 *	1.26 **
					2	CB2-10H4	12.5	15.41	90.2 *	12.30 *	13.93 *	7.21 *	0.98 *	1.11 .
CC	El Repórter	190	6H4	Chamburo (CM). Fluvaquentic Haplustolls	1	CC1-6H4	14.4	13.53 **	115.2 **	13.05 **	15.55 **	8.02 **	0.91 **	1.08 .
					2	CC2-6H4	12.9	15.80 *	68.6 **	9.65 **	10.87 **	5.31 **	0.75 **	0.84 **
CM	El Rhin	16	6H0	Corintias (CT). Typic Haplusterts	1	CM1-6H0	15.5	12.91 **	152.4 **	16.56 **	19.73 **	9.81 **	1.07 **	1.27 **
RP	Valparaíso	140	5H4	Nuevo Pichichi (NP). Typic Haplusterts	1	RP1-5H4	14.0	13.56 +	161.6 *	18.40 *	21.92 *	11.57 *	1.32 *	1.57 .
RS	Santa Lucia	12Z	8H5	Quinamayo (QM), Fluventic Eutrudepts	1	RS1-8H5	13.5	15.07 **	120.6 *	15.75 **	18.14 **	8.91 *	1.16 **	1.34 **
					2	RS2-8H5	14.3	13.80 +	118.9	14.02 *	16.40 *	8.33	1.15 *	1.15 .
SC	Argelia	422A	5H2	Burriga (BU). Typic Endoaquerts	1	SC1-5H2	13.1	13.53 *	143.0 **	16.20 **	19.36 **	10.95 **	1.24 **	1.48 **
Media								**14.01**	**120.7**	**14.12**	**16.69**	**8.88**	**1.05**	**1.23**
p Localidades								**	**	**	**	**	**	**
DMS (Locs, 0.05)								**0.25**	**2.57**	**0.53**	**0.46**	**0.18**	**0.04**	**0.03**

CA=Incauca, CB=Cabaña, CC=Riopaila Castilla (Castilla), CM=Carmelita, RP=Riopaila Castilla (La Paila), RS= Risaralda, SC=Sancarlos. ZA=Zona Agroecológica, MDS=Meses después de la siembra. P=significación estadística, ns=no significancia estadística entre variedades dentro de localidad, **=significancia al 1%, *=significancia al 5%, DMS=Diferencia mínima significativa.

Resultados y discusión

Sitios de evaluación y fechas de cosecha

En la prueba regional de la serie 2001 para ambientes húmedos fueron sembrados cinco variedades y el testigo comercial CC 85-92 **(Cuadro 14**) fue sembrado en siete ingenios, cinco de ellos en zonas agroecológicas representativas de las zonas húmedas y dos en zonas agroecológicas de transición o en zonas en donde los niveles freáticos son altos. Aunque la zonificación los muestre como secos, ellos son atípicos, sobre todo cuando se tienen condiciones ambientales muy erráticas. En todos los ingenios fueron evaluadas las plantillas, solo en tres de ellos, además fue evaluada la primera soca. Esto debido a la premura de promover las variedades y al riesgo por la aparición de la roya naranja en alguna de las variedades de la experimentación, que hizo que muchos de los ingenios terminaran el ensayo de manera inmediata. En el **Cuadro 15** se muestran los ingenios, zonas agroecológicas, las consociaciones y la familia textural de los ambientes de evaluación. En general la cosecha del experimento se hizo entre 11.5 y 14.5 meses después de la siembra (MDS). En los siete ingenios, tanto en las plantillas como en las socas, los coeficientes de variación fueron bajos e hicieron buena discriminación de las variedades evaluadas, permitiendo encontrar diferencias estadísticas entre ellas y el testigo comercial, tanto para los caracteres relacionados con la productividad, como para los componentes secundarios de la productividad, como son la población de tallos por metro, porte y diámetro de los tallos.

Entre localidades, la media de sacarosa (% caña) fue de 14.01% y fue mayor su contenido en los ingenios con zonas agroecológicas húmedas como es el caso de los ingenios la Cabaña (CB, 15.41%), Incauca (CA, 14.2%), Riopaila Castilla, tanto en la plana de Castilla (CC, 14.4%) como el La Paila (RP, 14.0%), y Risaralda (RS, 15.07%); y fue menor en los ingenios Sancarlos (SC, 13.1%) y Carmelita (CM, 12.91%). La media de TCH fue de 120.7 t, con un rango entre 69 y 161 t, siendo mayor la producción de tonelaje en la medida que los ambientes de evaluación tienden a ser más secos, lo cual es coincidente en lo registrado en estudios previos, en donde se muestra que la mayor producción de tonelaje y biomasa total va en una disminución de los contenidos de sacarosa en la planta. La media de las toneladas de azúcar por hectárea (TAH) fue de 14.12 t, con un rango entre 9.65 y 18.40 t. La media de toneladas de sacarosa por hectárea (TSH) fue de 16.69 t, con

un rango entre 10.87 y 21.92 t. Los indicadores de TCHM, TAHM y TSHM mostraron una media de 8.88, 1.05 y 1.23 t, respectivamente, siendo mayor en los ingenios Riopaila Castilla (La Paila), La Cabaña y Sancarlos. Este último ubicado en una zona agroecológica de transición.

En la **Figura 25** se muestra la curva de isoproductividad de las medias de los indicadores por ingenio - zona agroecológica. Se observa que en los ambientes más húmedos con niveles H4 y H5, en general, las variedades no fueron estadísticamente diferentes al testigo CC 85-92. Estas presentaron menor producción de tonelaje, con buena concentración de sacarosa (% caña), con excepción del ingenio Riopaila Castilla (La Paila, 5H4), en donde se presentó mayor tonelaje y menor sacarosa (% caña), esto debido a que las condiciones climáticas de evaluación que en ese momento fueron secas y que, unido a un grupo de suelos muy arcillosos, la zona agroecológica en su nivel de humedad cambió. Los ingenios Carmelita y Sancarlos mostraron tonelajes altos y sacarosa (% caña) por debajo de la media general, debido a que las variedades desarrolladas para ambientes húmedos, cuando son sembradas en condiciones sin estrés hídrico, expresan su potencial de crecimiento y de producción de tallos, lo cual va en una disminución de los contenidos de sacarosa. Se debe tener presente que cuando se hace el movimiento de las variedades de la condición natural para las que fueron seleccionadas, en particular de ambientes húmedos a semisecos, estas pueden crecer en condiciones sin estrés, logrando mayor producción de tonelaje de caña pero aumentando el consumo de la fuente energética, que en este caso

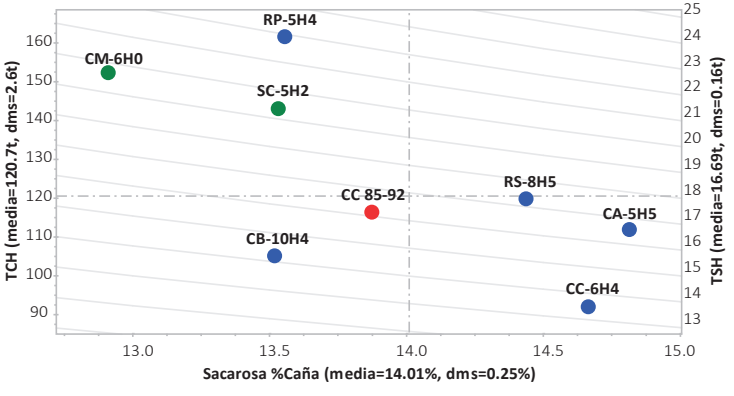


Figura 25. Curvas de Isoproductividad de siete ingenios (zonas agroecológicas) a través de las variedades, evaluadas en ambientes de zonas húmedas en la prueba regional de la serie 2001.

son los contenidos de sacarosa en los tallos ocasionando disminuciones en los contenidos de sacarosa que llega a la fábrica; por tanto, se recomienda además de hacer un manejo agronómico adecuado, reducir el uso excesivo de fertilización nitrogenada.

Análisis combinado a través de localidades

Se realizó el análisis combinado de la información a través de las 10 localidades en donde se evaluó la prueba regional y las medias que se presentan en el **Cuadro 16**. Para todos los caracteres evaluados, se obtuvieron coeficientes de variación bajos, con valores entre 2.41% y 5.53% para sacarosa (% caña) y TAH, respectivamente. Con excepción del carácter sacarosa (% caña), los coeficientes de heredabilidad que dan una cuantificación porcentual de la componente genética, que hace parte de la variación total observada, presentó valores entre intermedio (58.30%) a altos (83.20%) para TAH y TCHM, respectivamente. Los resultados indican que los ensayos fueron bien conducidos agronómicamente y que el diseño utilizado logró controlar el efecto ambiental, permitiendo mayor precisión en la estimación de las medias y de la componente genética que cada una de las variedades está expresando. El carácter sacarosa (% caña) mostró heredabilidad baja y coeficiente de variación bajo, lo cual indica que el carácter, a pesar de ser controlado por muchos genes, es fuertemente afectado por las condiciones ambientales predominantes durante el desarrollo del cultivo.

El análisis de varianza encontró diferencias estadísticas altamente significativas entre las localidades de evaluación, entre las variedades y para la interacción de variedad x localidad (GenxLoc), para todos los caracteres relacionados con la productividad de la planta. Esto indica que las diferencias entre las variedades en producción, además de estar controladas por la genética de la misma planta y el ambiente de evaluación (clima y manejo agronómico), ha sido importante en la expresión de las variedades y en que ellas respondan de manera diferente a la influencia del ambiente. Esto ocasiona que el orden de mérito en cada localidad sea diferente y que por lo tanto las variedades deben ubicarse en ambientes específicos y el manejo agronómico de ser acorde al concepto de agricultura específica por sitio.

El carácter sacarosa (% caña) mostró una media de 14.01% con un rango 13.75 y 14.56%. El TCH mostró una media de 120.2 t, con un rango entre 112.5 y 130.9 t, y la media de TSH fue 16.64 t, con un rango entre 15.84 y 18.48 t. La variedad CC 01-1817 mostró el mayor contenido de sacarosa (%

Cuadro 16. Indicadores de productividad evaluado en cinco variedades promisorias de la serie 2001 para ambientes húmedos evaluada a través de siete ingenios (plantilla y primera soca) en zonas agroecológicas representativas de los ambientes húmedos

Variedades	Sacarosa (% caña)				TCH				TAH				TSH				TCHM				TAHM				TSHM			
	Media	D	R	%MT p	Media	D	R	%MT p		D	R	%MT p	Media	D	R	%MT p	Media	D	R	%MT p	Media	D	R	%MT p	Media	D	R	%MT p
CC 01-1817	14.56	A	1	5	112.5	C	6	-3	13.92	CB	3	2	16.18	C	3	1	8.30	C	6	-3	1.04	BC	3	2	1.19	BC	3	2
CC 01-1866	13.76	B	5	-1	118.8	B	3	2	13.72	CB	4	1	16.00	C	5	0	8.75	B	3	2	1.03	BC	4	1	1.18	C	4	0
CC 01-1884	13.75	B	6	-1	126.5	A	2	9 **	14.77	AB	2	8	17.33	B	2	8*	9.27	A	2	8 **	1.09	B	2	7	1.26	B	2	8
CC 01-1922	13.83	B	4	0	116.4	BC	4	0	13.27	C	6	-3	15.84	C	6	-1	8.59	BC	4	1	0.99	C	6	-3	1.17	C	6	-1
CC 01-1940	14.26	AB	2	3	130.9	A	1	13 **	15.76	A	1	16 **	18.48	A	1	15 **	9.63	A	1	13 **	1.18	A	1	16 **	1.36	A	1	16
CC 85-92	13.87	B	3	0	116.3	BC	5	0	13.64	CB	5	0	16.01	C	4	0	8.54	BC	5	0	1.02	BC	5	0	1.17	C	5	0
Media	14.01				120.2				14.18				16.64				8.84				1.06				1.22			
Min	13.75				112.5				13.27				15.84				8.30				0.99				1.17			
Max	14.56				130.9				15.76				18.48				9.63				1.18				1.36			
DMS	0.62				5.22				1.13				1.13				0.38				0.08				0.08			
CV (%)	2.41				3.72				5.53				4.37				3.72				5.78				4.46			
p Variedades (Genotipo)	+				**				*				**				**				*				**			
p GenxLoc	**				**				**				**				**				**				**			
p Loc	**				**				**				**				**				**				**			
Heredabili-dad (%)	11.75				83.03				58.30				70.50				83.20				58.70				70.11			

MDS=Meses después de la siembra. p=significación estadística, ns=no significancia estadística entre variedades dentro de localidad, **=significancia al 1%, *=significancia al 5%, DMS=Diferencia mínima significativa, D=separación de medias según diferencia mínima significativa y variedades con la misma letra son estadísticamente iguales, R=orden de mérito o jerarquización entre todas las variedades, %MT=ganancia porcentual relativa al testigo CC 85-92.

caña) de 15.56% y fue estadísticamente diferente a la variedad CC 85-92 (13.87% dms = 0.62%), superándola en 5% más de sacarosa. Su tonelaje fue bajo con 112.5 t e inferior al testigo (130.9 t), aunque no difieren estadísticamente. El TSH fue 16.18 t, siendo estadísticamente igual al testigo (16.01 t, dms = 1.13 t). El TCHM, TAHM y TSHM fueron 8.30 t, 1.04 t y 1.19, respectivamente, y fueron estadísticamente iguales al testigo (**Cuadro 16**). Por la ruta del tonelaje, sobresale la variedad CC 01-1884 con 126.5 t, superando significativamente al testigo CC 85-92 (dms = 5.22 t), en 9% más toneladas de caña; la sacarosa (% caña) (13.75%) fue más baja que la presentada por el testigo, aunque no fueron estadísticamente diferentes. Fue la segunda variedad mejor en TSH (17.33 t), siendo significativamente diferente al testigo CC 85-92 (16.01 t, dms = 1.13 t) y produciendo 8% más toneladas de sacarosa. Las variedades CC 01-1866 y CC 01-1922 mostraron tonelajes (118.8 y 116.4 t, respectivamente), por debajo de la media general y no son estadísticamente diferentes al testigo CC 85-92 (16.01 t, dms = 1.13 t).

La variedad CC 01-1940 fue la mejor en TCH (112.5 t) y la segunda en acumulación de sacarosa (% caña) (14.26 %), con un resultado por encima de la media general, tanto para TCH como para sacarosa. Además, también fue estadísticamente diferente al testigo CC 85-92, produciendo 3% y 13% más de sacarosa y toneladas de caña, respectivamente. La variedad CC 01-1940 fue la variedad con más alto TSH (18.48 t), siendo estadísticamente diferente a CC 85-92 (16.01 t, dms = 1.13 t) y produciendo 15% más toneladas de sacarosa (**Cuadro 16**, **Figura 26**). Fue también la variedad con los mejores indicadores de TCHM (9.63 t), TAHM (1.18 t) y TSHM (1.36 t), produciendo entre 13 y 16 % más toneladas por mes que el testigo CC 85-92. Mostró tallos con altura media de 304 cm, diámetro de 30.4 mm, población por metro de 9.4 tallos, en ambientes húmedos con una incidencia de acame por debajo del 3% en ambientes húmedos y mayor al 5% en ambientes semisecos. La incidencia de floración es inferior al 1% y fue tolerante a las enfermedades prevalentes en los ambientes de evaluación (datos no presentados).

En la **Figura 27** y **Figura 28** se presentan los indicadores de productividad de la variedad CC 01-1940 y el testigo comercial CC 85-92 evaluadas en siete ingenios, y los porcentajes de ganancia relativa al testigo. Con respecto al promedio de la variedad CC 85-92 a través de los ambientes de evaluación, se observó que en las zonas agroecológicas 5H5 y 8H5, la variedad CC 01-1940 fue superior en la acumulación de sacarosa y TCH por encima de la media general. En 6H4 se observó buena acumulación de sacarosa,

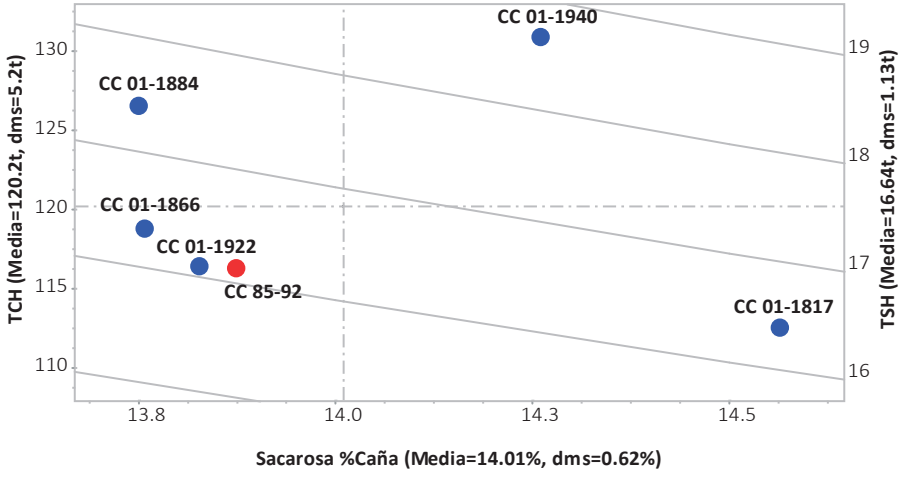


Figura 26. Curvas de Isoproductividad de cinco variedades de la serie 2001 y la variedad CC 85-92, evaluadas a través de 10 localidades (siete ingenios, plantilla y primera soca) representativos de las zonas humedad del valle del río Cauca.

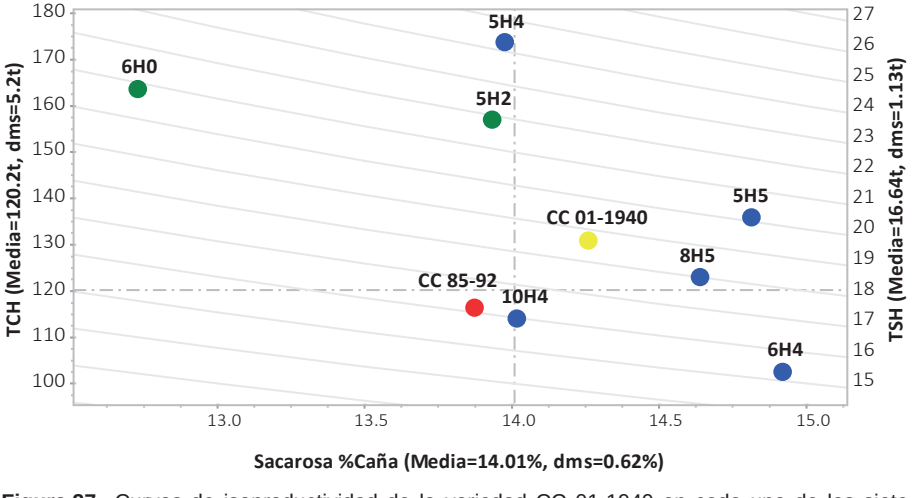


Figura 27. Curvas de isoproductividad de la variedad CC 01-1940 en cada uno de los siete ingenios (zonas agroecológicas) y las medias de CC 01-1940 y CC 85-92 a través de 10 localidades, evaluadas en la prueba regional con variedades de la serie 2001 en ambientes representativos de las zonas húmedas del valle del río Cauca.

pero el tonelaje de caña se ubicó por debajo de la media general. En las zonas agroecológicas 5H2 y 5H4, la variedad mostró sacarosa ligeramente por debajo de la media general, pero con alto tonelaje; mientras que, en la zona 6H0, se obtuvo alto tonelaje con baja acumulación de azúcar. En la acumulación de sacarosa la variedad CC 01-1940 superó al testigo CC 85-92 en cinco de las zonas agroecológicas, donde se observaron ganancias entre 2.7 y 7.8% para 8H5 y 6.4, respectivamente. En la zona agroecológica 6H1 se observó menos acumulación de sacarosa con pérdidas con respecto al testigo de 4.1% (**Figura 28**). En general para TCH, la variedad CC 01-1940 superó al testigo CC 85-92 en todas las zonas agroecológicas, excepto en 8H5. La ganancia porcentual estuvo entre 7.4% y 26.5% para 5H4 y 5H5, respectivamente. En la zona agroecológica 6H0, a pesar de que se obtuvo un alto tonelaje, la ganancia relativa a CC 85-92 fue baja (10.8%). Para TSH, la variedad CC 01-1940 produjo entre 1.8 y 31.0% más TSH que la variedad CC 85-92. Las mayores ganancias se obtuvieron en zonas agroecológicas húmedas y de transición, mientras que en ambientes secos la variedad tiende a tener alto tonelaje con baja sacarosa y por lo tanto, los TSH tienden a ser iguales (**Figura 28**). Estos resultados sugieren que los mejores nichos en donde la variedad CC 01-1940 tiene su mejor expresión de sacarosa y TSH corresponden a zonas agroecológicas húmedas.

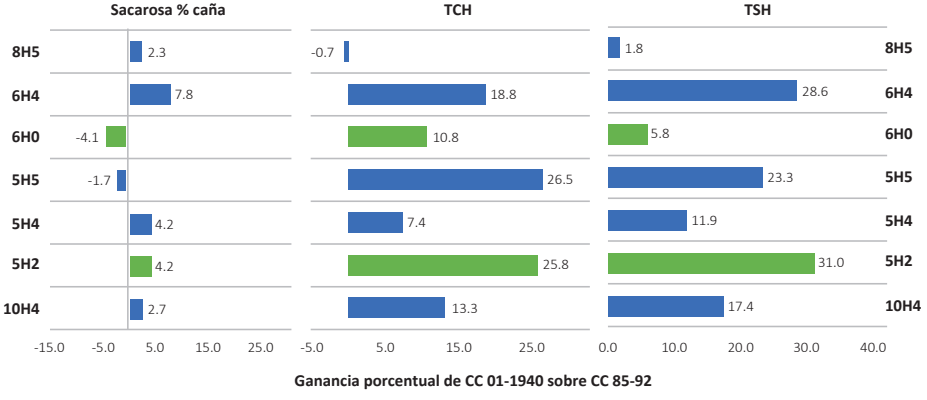


Figura 28. Ganancia porcentual de la variedad CC 01-1940 relativa al testigo CC 85-92, evaluado en la prueba regional de la serie 2001 en siete ingenios (zonas agroecológicas) representativos de las zonas húmedas.

Análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad fue hecho para los caracteres sacarosa (% caña), TCH y TSH y se hizo por la metodología AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*), propuesta por Gauch and Zobel (1997). En la expresión del carácter sacarosa (% caña), el 55% de la varianza observada en el campo fue debido a las condiciones propias de clima y manejo (ambiente) en cada uno de los ingenios. Tan solo el 8.2% fue gracias a la expresión de los genes y el 37%, a la interacción entre la componente genética de las variedades y el ambiente, ya sea por efectos climáticos o de manejo agronómico. En TCH, el 85% de la variación se dio por el ambiente de evaluación y el 7.8% debido a la expresión de los genes responsables de la producción de tallos; la interacción explicó el 7.6% de la varianza total observada en campo, puesto que la expresión del componente genético del TCH está muy controlado tanto por el ambiente como por el manejo agronómico. La variación observada para TSH fue de 74%, explicada por el ambiente y manejo; 10.4%, por los genes involucrados en la expresión y el 15.5, por la interacción entre los genes y el ambiente. A pesar de que para los tres caracteres un alto porcentaje de la variación fue debida a las localidades, fue la sacarosa (% caña) la variable más sensible al ser afectada por la interacción, presentando diferencias en su expresión a través de localidades, lo cual ocasiona que su expresión sea errática.

La componente interactiva del modelo AMMI se realiza sobre la interacción de variedades x localidad a través de un análisis de componentes principales y se encontró que en sacarosa (% caña) las dos primeras componentes interactivas recogen el 84% de la variación de la interacción; para TCH, explican el 74% y para TSH, explican el 86%, siendo ellas estadísticamente significativas. Esto significa que el modelo fue eficiente en la explicación de la interacción.

En la **Figura 29**, se presentan las gráficas de AMMI1 y AMMI2 para los tres caracteres relacionados con la productividad. El análisis de sacarosa (% caña) mostró que, en general, todos los sitios de evaluación discriminan las variedades, permitiendo encontrar diferencias entre ellas. En las zonas agroecológicas 8H5, 5H5 y 6H4 se obtuvo la mayor acumulación de sacarosa, estando por encima de la media general, mientras que 5H2, 10H4, 5H4 y 6H0 fueron en donde hubo menor acumulación de sacarosa (**Figura 29A**).

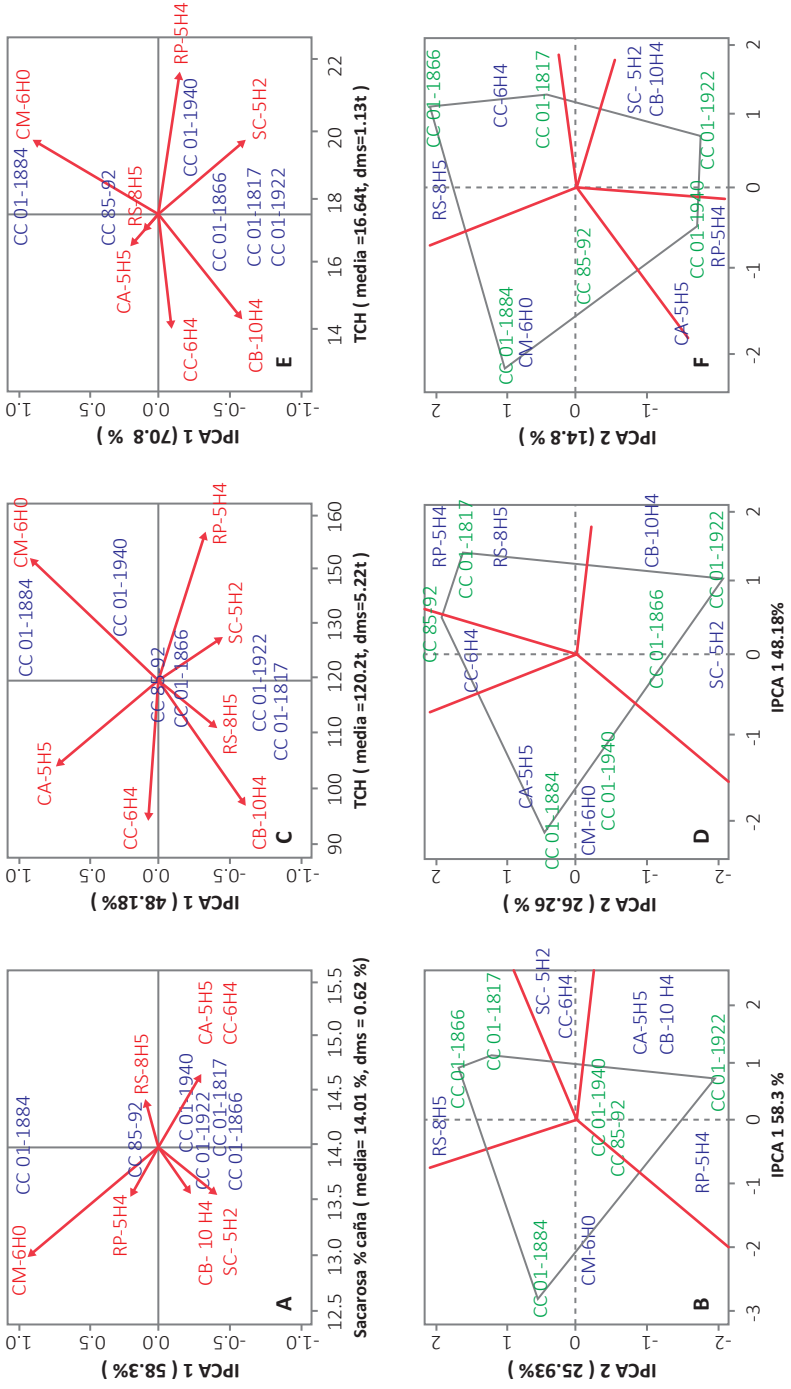


Figura 29. AMMI1 y AMMI2 para sacarosa (% caña), TCH y TSH, evaluado en la prueba regional con variedades de la serie 2001, a través de 10 localidades (7 ingenios y dos cortes) en zonas representativas de las zonas húmedas del valle del río Cauca.

Con respecto a las variedades, la sensibilidad al ambiente es mayor en la medida de que el vector que pasa por el origen hasta la coordenada de la variedad sea de mayor magnitud; por lo tanto, la variedad CC 01-1884 fue la más inestable en la producción de sacarosa, en cambio las más estables fueron CC 85-92 y CC 01-1940, siendo esta última de mayor potencial de acumulación. La figura de AMMI2 muestra el biplot de las dos componentes de la interacción. Entre las variedades más sensibles al ambiente, se formó un polígono denominado polígono de variación y entre los vectores que pasan por el origen, y que son perpendiculares a cada uno de los lados del polígono, se definen los cuadrantes en donde la correlación entre las variedades y lo ambientes cercanos es fuerte y significativa (no interacción). Por lo tanto, en general, para sacarosa se forman tres ambientes en función de, la producción de sacarosa. El primero está formado entre la parte central y el norte del valle con zonas agroecológicas de transición o ácuicas en 5H2 y zonas con suelos mejor drenados, pero con altas precipitaciones como son 8H5 en Risaralda. En estas zonas agroecológicas, las variedades de mejor adaptación fueron CC 01-1866 y CC 01-1877, con una media de 14.70% y produjeron 3.5% más sacarosa que la media del ambiente. El segundo ambiente corresponde a suelos secos o semisecos del centro occidente con zonas agroecológicas 6H0, con bajo potencial de acumulación de azúcar y en donde la variedad de mejor adaptación fue CC 01-1884, con una media de 14.56% y produjo 12.74% más sacarosa que la media del ambiente. El tercer ambiente (**Figura 29B**) son zonas agroecológicas 5H4, 5H5 y 10H4 del sur y norte del valle con alta precipitación; ahí, las variedades de mejor adaptación fueron CC 01-1922, CC 01.1940 y CC 85-92 con una media de 14.21% y produjeron 2.0% más sacarosa que la media del ambiente.

La **Figura 29C** muestra los vectores de dispersión, observándose con excepción a las variedades CC 01-1886 y CC 85-92, que fueron las más estables. Las variedades más inestables, pero con alto potencial de TCH, fueron CC 01-1884 y CC 01-1940. Todos los ambientes de evaluación fueron adecuados para hacer la discriminación entre las variedades, lo que permitió encontrar diferencias entre ellas. En la **Figura 29D** se observa la formación de tres ambientes para la producción de TCH: el primero, lo forman las zonas agroecológicas 6H0 del ingenio Carmelita y la 5H5 de Incauca, en donde las variedades de mejor adaptación fueron CC 01-1884 y CC 01-1940, con alta producción de tonelaje. Las dos variedades mostraron una media de TCH de 151.3 t, produciendo hasta 15% más toneladas de caña que la media de todas

las variedades; el segundo ambiente, lo formaron las zonas agroecológicas 5H4 y 8H5 del norte del departamento del Valle y el sur de Risaralda, en donde todas las variedades tienden a tener igual comportamiento en cuanto a el tonelaje, pero se destacaron las variedades CC 01-1817 y el testigo CC 85-92, por ser la más estables; y el tercer ambiente, lo conformaron las zonas agroecológicas 10H4 del norte del Cauca y sur del valle, y las zonas agroecológicas de transición del centro del valle, en donde las variedades de mejor adaptación fueron CC 01-1886 y CC 01-1922, las cuales mostraron una media de 128.3 t y produjeron hasta 3.0% más TCH que la media de todas las variedades evaluadas.

Las zonas agroecológicas 6H0 de Carmelita, 5H2 de Sancarlos y 5H4 de Riopaila-Castilla (La Paila) mostraron el mayor potencial de producción de TSH por la ruta del tonelaje y no de la sacarosa, además fueron ambientes buenos para discriminar el potencial de las variedades. En las zonas agroecológicas 6H4 y 10H4 de Riopaila Castilla (Castilla) y Cabaña, respectivamente, a pesar de que permiten discriminar las variedades, su potencial de TSH es bajo debido a que son zonas en donde la producción de TCH se ve reducida con acumulaciones de sacarosa importantes. Las variedades de mayor potencial de TSH fueron CC 01-1940 y CC 01-1884, siendo esta ultima una de las sensibles a los cambios del ambiente (**Figura 29E**). En la figura de AMMI2, **Figura 29F**, se formaron cuatro ambientes para TSH, el primero recogió la zona agroecológica 6H0 del ingenio Carmelita, en donde las variedades de mejor adaptación fueron CC 01-1884 y CC 85-92 con una media de 22.67 t y produjeron hasta 18.12% más TSH que el promedio de la localidad. El segundo ambiente lo formaron las zonas agroecológicas 5H5 y 5H4 en donde la variedad de mejor adaptación fue CC 01-1940, la cual mostró una media de 22.17 t y produjo hasta 21.3% más toneladas de sacarosa que la media del ambiente. El tercer ambiente recogió las zonas agroecológicas 5H2 y 10H4 y la variedad de mejor adaptación fue CC 01-1922, con una media de 17.42 t y produjo hasta 4.7% más toneladas de sacarosa que la media del ambiente. Y el cuarto ambiente recogió las zonas agroecológicas 6H4 y 8H5 en donde las variedades que sobresalieron fueron CC 01-1866 y CC 01-1817 con una media de 15.33 t y produjeron hasta 5.42% más toneladas de sacarosa que la media del ambiente.

Conclusiones

La variedad CC 01-1940 mostró alto valor de TSH a través de los ambientes de evaluación, seguida de la variedad CC 01-1817; esta última de menor tonelaje, pero con mayor contenido de sacarosa. El TCH de la variedad CC 01-1940 tiende a aumentar en cuanto se la mueva de una condición húmeda a una semiseca; pero, esto va en detrimento de los contenidos de sacarosa, además de aumentar la incidencia de volcamiento de los tallos en estadíos tempranos del desarrollo permitiendo el rebrote de nuevo tallos que contribuyen a tener bajos rendimientos en fabrica. El TSH de la variedad CC 01-1940 en las zonas agroecológicas 5H4, 5H5, 8H5 y 5H2 fue mayor al mostrado por la variedad CC 85-92, obteniéndose ganancias relativas hasta de un 31% más en las toneladas de sacarosa por hectárea. En ambientes semisecos (6H0), el TSH de CC 01-1940 fue el más alto por la vía del tonelaje y con bajo contenido de sacarosa; y en términos relativos al testigo, fue la que menos ganancia relativa tuvo (5.8%) y tendió a ser igual al testigo comercial. Esto significa que para la zona agroecología 6H0 y ambientes semisecos en general, se recomienda la siembra de variedades seleccionadas en el ambiente semiseco, las cuales aumentan con mayor seguridad la productividad con respecto al testigo comercial.

En términos generales, la variedad CC 01-1940 mostró mejor adaptación en términos de sacarosa (% caña) y TSH a los ambientes húmedos en donde se obtienen mejores tasas de retorno, con respecto a la variedad CC 85-92. El TCH en ambiente semisecos tiende a ser estable, pero se expresa una alta inestabilidad del contenido de sacarosa y se observa un aumento en los costos de producción y en los operativos de la cosecha.

Comportamiento de la variedad CC 01-1940 en áreas de validación de tecnología con enfoque de AEPS®

Camilo H. Isaacs Echeverri[1], María Claudia Pizarro Esguerra[2], Carlos Arturo Moreno Gil[3]

El proyecto de Agricultura Específica por Sitio (AEPS®) incluyó nueve áreas de validación comercial de tecnología en donde se evaluó la productividad de la caña de azúcar y su rentabilidad al aplicar prácticas agronómicas con enfoque de AEPS en comparación con prácticas convencionales o seguidas por los productores.

Las áreas de validación se desarrollan mediante un proceso concertado y participativo entre representantes de los ingenios, los programas de investigación y el servicio de transferencia de tecnología de Cenicaña. Son a su vez áreas demostrativas y en ellas se llevan a cabo eventos de divulgación en los que participan los productores de caña de azúcar y proveedores de los ingenios.

Áreas de validación y manejo agronómico

En este documento se presenta una síntesis de los resultados en dos áreas de validación establecidas en zonas agroecológicas de ambiente húmedo en los ingenios La Cabaña y Risaralda, para las cuales se eligieron las variedades CC 01-1940 (AEPS) y CC 85-92 (convencional) (**Cuadro 17**). La selección de la variedad y los criterios de manejo agronómico en cada caso se resumen en el **Cuadro 18.**

1. Ingeniero agrónomo, jefe Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología (SCTT) Cenicaña, chisaacs@cenicana.org
2. Ingeniera agrónoma, ingeniera agrónoma SCTT Cenicaña, mcpizarro@cenicana.org
3. Estadístico, M. Sc., biometrista Cenicaña, camoreno@cenicana.org

Cuadro 17. Descripción de las áreas de validación de tecnología en ambientes húmedos.

Ingenio, hacienda y suerte	Z.A.	Consociación de suelo	Variedad AEPS	Variedad convencional	Cortes (No.)	Fecha de siembra
La Cabaña, Cabaña 42	10H4	Ballesteros	CC 01-1940	CC 85-92	3	10/4/2011
Risaralda Bohíos 24	5H5	Catorce				8/8/2011

Cuadro 18. Descripción general de prácticas de manejo agronómico de AEPS y convencional en dos áreas de validación de tecnología en zonas agroecológicas de ambiente húmedo del valle del río Cauca.

Manejo agronómico	Prácticas AEPS	Prácticas convencionales
Variedad	CC 01-1940	CC 85-92
Preparación del suelo y labores de cultivo	Según Guia de Recomendaciones Técnicas (GRT-AEPS)	Según tradición del productor
Fertilización	Análisis de suelos y recomendación determinada por el Sistema Experto de Fertilización (SEF)	Según tradición del productor (mayor dosis que AEPS)
Riego	Programación por balance hídrico Aplicación por surco alterno	Programación por observación de campo Aplicación por surco continuo

Variables y análisis estadístico

Las variables evaluadas durante tres cortes de las variedades en las áreas de validación fueron: toneladas de caña por hectárea (TCH), porcentaje de rendimiento en azúcar (Rto. %), ingreso neto (en pesos) por tonelada de azúcar (IN$/TA) para el ingenio en tierras de manejo directo e ingreso neto (en pesos) por hectárea (IN$/ha) para proveedores de caña de azúcar con contrato de 58 kg de azúcar por tonelada de caña y, costos por hectárea ($/ha).

Para el diseño establecido de bloques completos al azar con seis tratamientos y tres repeticiones se realizó un análisis de varianza de los tres cortes, los cuales se consideran como medidas repetidas. Posterior al análisis de varianza, se estimaron los promedios por mínimos cuadrados para cada uno de los niveles de los factores, las interacciones de segundo orden y las diferencias entre los niveles de los factores. Los resultados se presentan para cada área de validación.

Resultados

Hacienda Cabaña, zona agroecológica 10H4

Los resultados del análisis de varianza, incluidas las fuentes de variación, la prueba F y la probabilidad mayor que F, se presentan en el **Cuadro 19**. El análisis mostró diferencias significativas entre tratamientos para todas las variables. La interacción tratamiento x corte también fue significativa pero únicamente para la variable TCH, con una probabilidad > F de 0.0123, de modo que se analizaron por separado los resultados de TCH para cada corte a fin de comparar los valores de esta variable para cada tratamiento y corte (prueba T a un nivel de significancia de 5%) (**Cuadro 20**).

Cuadro 19. Resultados del análisis de varianza (prueba F y niveles de significancia, p valor) para tres fuentes de variación y cuatro variables de respuesta. Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 10H4.

Factor de variación	TCH		Rendimiento (%)		Ingreso neto para ingenio ($/TA)		Ingreso neto para cultivador ($/ha)	
	F	p > F	F	p > F	F	p > F	F	p > F
Tratamiento	2.27	0.0404	4.36	0.0005	5.17	<.0001	3.25	0.0048
Corte	26.46	<.0001	51.70	<.0001	31.40	<.0001	0.67	0.5139
Trat. x Corte	2.32	0.0123	0.5	0.8901	0.49	0.9321	1.1	0.3715

Cuadro 20. Comparación de los valores estimados de TCH por tratamiento y por corte (prueba T, nivel de significancia del 5%). Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 10H4.

Tratamiento	TCH		
	Corte 1	Corte 2	Corte 3
T1. Variedad CC 85-92 y manejo agronómico convencional	102.96 b*	104.27 a	120.5 b
T2. Variedad CC 01-1940 y manejo agronómico convencional	97.08 b	100.75 a	139.25 a
T3. Variedad CC 01-1940 y manejo agronómico de AEPS	125.08 a	104.93 a	124.25 ab

* Valores con letras iguales en una columna indican que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ellos.

Los resultados del Cuadro 20 indican que en el primer corte (plantilla) la variedad CC 01-1940 con manejo agronómico de AEPS (T3) superó significativamente en TCH a ella misma y a la CC 85-92, ambas con manejo convencional (T2 y T1). No se presentaron diferencias en TCH entre tratamientos en el segundo corte (primera soca). En el tercer corte (segunda soca), en los tratamientos de manejo convencional la variedad CC 01-1940 (T2) superó significativamente en TCH a la CC 85-92 (T1).

Finalmente, en el **Cuadro 21** se presentan para los tres cortes los valores estimados promedio de las diferentes variables de respuesta. Se observa que la variedad CC 01-1940 con manejo agronómico de AEPS (T3) mostró valores estadísticamente superiores en términos de ingreso neto en comparación con la CC 85-92 con manejo convencional (T1), tanto en el análisis para el ingenio y para el proveedor; esto significa que el ingreso por hectárea y por tonelada de azúcar fue mayor cuando se cosechó la variedad AEPS manejada con prácticas de AEPS en comparación con los ingresos obtenidos con la variedad y las prácticas convencionales. De acuerdo con los costos reportados en el **Cuadro 21**, se puede afirmar que la rentabilidad para el ingenio y para el proveedor de caña aumentó significativamente al realizar el manejo agronómico de AEPS a la variedad CC 01-1940, tratamiento en el que se obtuvo mayor TCH con menores costos relativos que en el tratamiento de variedad y manejo convencionales (T1).

Cuadro 21. Valores estimados de rendimiento e ingreso neto para ingenios y proveedores de caña de azúcar con referencia a los promedios de tres cortes para cada tratamiento. Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 10H4.

Tratamiento	Rto. (%)	Ingreso neto para ingenio[1] (%, $/TA)	Ingreso neto para cultivador[1] (%, $/ha)	Costos[1] relativos al T1 (%, $/ha)
T1. CC 85-92 y manejo agronómico convencional	11.99	100%	100%	100%
T2. CC 01-1940 y manejo agronómico convencional	10.96*	45%*	116%	92%
T3. CC 01-1940 y manejo agronómico de AEPS	11.89	173%*	153% *	76%

* Valores con asterisco en una columna presentan diferencias estadísticas significativas en comparación con el tratamiento 1 ($p < 0.1$).

1. Los valores de costos e ingreso neto se presentan en porcentaje relativo al tratamiento 1.

Hacienda Bohíos, zona agroecológica 5H5

Los resultados del análisis de varianza, incluidas las fuentes de variación, la prueba F y la probabilidad mayor que F, se presentan en el **Cuadro 22**. El análisis mostró diferencias significativas entre tratamientos para las variables TCH e ingreso neto para el proveedor de caña ($/ha). En la interacción tratamiento x corte no se observaron diferencias significativas para ninguna de las variables.

En el **Cuadro 23** se incluye el análisis comparativo de los valores promedio de tres cortes estimados de las diferentes variables de respuesta para cada tratamiento. Para todas las variables evaluadas, los resultados de los tratamientos que incluyeron a la variedad CC 01-1940 fueron consistentemente superiores a los conseguidos con CC 85-92, lo cual confirma que la selección de la variedad CC 01-1940 para la zona agroecológica 5H5 fue acertada.

En términos de TCH y cuando se hizo manejo convencional, la variedad CC 01-1940 (T2) superó estadísticamente a la CC 85-92 (T1) en 10.7%.

Para la variable rendimiento (%) se observaron diferencias significativas de los tratamientos que incluyeron a CC 01-1940 (T2 y T3), superiores al T1 de variedad y manejo convencionales.

Con respecto al ingreso neto, se estimó que los tratamientos con CC 01-1940 (T2, manejo convencional y T3, manejo AEPS) representan un ingreso significativamente superior en pesos por hectárea para el proveedor de caña (contrato de 58 kg de azúcar por tonelada de caña) en comparación con el tratamiento de CC 85-92 con manejo agronómico convencional (T1). También se estimó un ingreso en pesos por tonelada de azúcar estadísticamente superior para el ingenio en sus tierras propias debido a las cosechas de CC 01-1940 (T2 y T3) con respecto a las de CC 85-92 (T1).

Cuadro 22. Resultados del análisis de varianza (prueba F y niveles de significancia, p valor) para tres fuentes de variación y cuatro variables de respuesta. Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 5H5.

Factor de variación	TCH		Rendimiento (%)		Ingreso neto para ingenio ($/TA)		Ingreso neto para cultivador ($/ha)	
	F	p > F	F	p > F	F	p > F	F	p > F
Tratamiento	4.09	0.0011	1.7	0.1280	1.17	0.3365	3.91	0.0015
Corte	51.57	< .0001	7.52	0.0013	12.38	<.0001	95.52	<.0001
Trat. x Corte	1.23	0.2794	0.9	0.5632	1.04	0.4284	1.20	0.3038

Cuadro 23. Valores estimados de TCH, rendimiento e ingreso neto para ingenios y cultivadores de caña de azúcar con referencia a los promedios de tres cortes para cada tratamiento. Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 5H5.

Tratamiento	TCH	Rto. (%)	Ingreso neto para ingenio[1] (%, $/TA)	Ingreso neto para cultivador[1] (%, $/ha)	Costos[1] relativos al T1 (%, $/ha)
T1. CC 85-92 y manejo convencional	142	12.06	100%	100%	100%
T2. CC 01-1940 y manejo convencional	157*	12.57	120%*	115%*	100%
T3. CC 01-1940 y manejo de AEPS	149	12.30	113%	107%*	104.5%

Valores con asterisco en una columna presentan diferencias estadísticas significativas en comparación con el tratamiento 1 ($p < 0.1$).

1. Los valores de costos e ingreso neto se presentan en porcentaje relativo al tratamiento 1.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de la validación participativa confirmaron que el uso de la variedad recomendada de acuerdo con el enfoque de AEPS es uno de los factores de mayor impacto en la productividad y la rentabilidad de las unidades productivas de caña de azúcar ubicadas en zonas de ambiente húmedo en el valle del río Cauca.

En las zonas agroecológicas 5H5 (consociación Catorce) y 10H4 (consociación Ballesteros) de ambiente húmedo se puede recomendar la siembra de la variedad CC 01-1940 en reemplazo de la CC 85-92 como alternativa para el mejoramiento de la productividad y rentabilidad tanto en las fincas en tierras propias de los ingenios como en fincas de proveedores de caña de azúcar.

Comportamiento comercial de la variedad CC 01-1940 frente a la CC 85-92 a través de los cortes

Carlos Arturo Viveros Valens[1], Carlos Arturo Moreno Gil[2]

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, a pesar de los cambios en el clima, el cual afecta el manejo del cultivo en cuanto a la oportunidad y calidad de las labores. El objetivo primario de una nueva variedad es mantenerse a través de los cortes el TCHM y el rendimiento, como mínimo, en el nivel de la variedad comercial actualmente cultivada. Por lo tanto, dado a que la adopción de la variedad CC 01-1940 se está aumentando en la industria, es importante conocer cómo se comporta en este aspecto.

Para ello se realizó un análisis con el fin de conocer el comportamiento de la variedad CC 01-1940, a través de los diferentes cortes en comparación con la CC 85-92. Para la comparación se utilizó la base de datos de información comercial y únicamente los resultados de suertes pertenecientes al ambiente húmedo para el cual fue desarrollada la variedad. Para el análisis se escogieron los dos ingenios que en la zona húmeda tienen más área sembrada con la variedad y con mayor número de cortes. Los resultados de información comercial corresponden en el ingenio 1, al período entre enero de 2013 y diciembre de 2017; y en el ingenio 2, al período entre enero de 2010 y diciembre de 2017. En el análisis descriptivo se compararon las medias de productividad por corte y por año de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 obtenidas en la producción comercial y adicionalmente, mediante el método de los modelos lineales generales, se expresó la variación del TCHM y TAHM en función del año, la variedad, el corte, la interacción variedad x corte, la edad y la edad al cuadrado. Estas dos últimas variables 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

1. Ingeniero agrónomo, Ph. D., fitomejorador Cenicaña, caviveros@cenicana.org
2. Estadístico, M. Sc., biometrista Cenicaña, camoreno@cenicana.org

y su interacción se consideraron de efectos fijos. Con base en este modelo, se realizó 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.

Ingenio 1

Al comparar las tendencias en TCHM 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.

Al observar el comportamiento de estas dos variedades en el período enero 2013-diciembre 2017, se observa que las diferencias entre CC 01-1940 y CC 85-92 siempre estuvieron entre 5.80 TCHM y 0.1 TCHM, a favor de la primera (**Figura 30**).

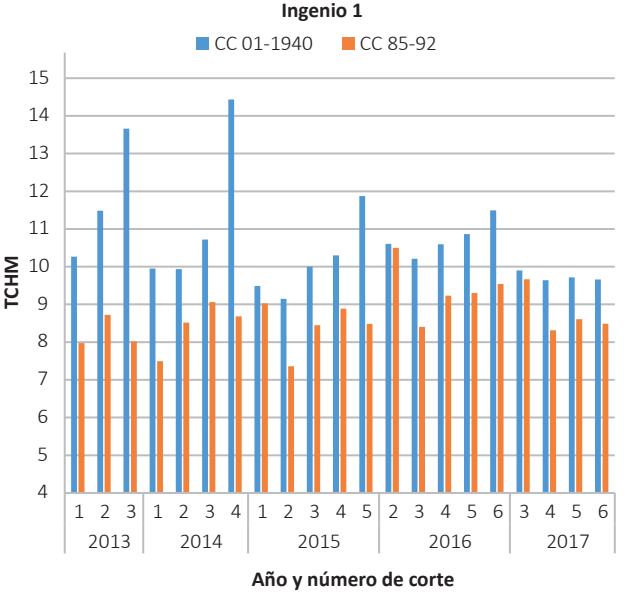


Figura 30. TCHM de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2013-2017 por corte en el Ingenio 1.

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 24** las comparaciones planeadas por corte entre las variedades. Para los primeros seis cortes, se observa que en TCHM la variedad CC 01-1940 superó a CC 85-92.

En conclusión, los anteriores resultados evidencian que CC 01-1940 muestra hasta el séptimo corte un buen desempeño en TCHM comparada con CC 85-92, y que el análisis por año elimina el efecto de la temporalidad, al igual que el análisis realizado utilizando los modelos lineales generales.

Cuadro 24. Comparación de medias para las variables TCHM, Rendimiento y TAHM por variedad y corte, en el Ingenio 1.

Variedad	Corte	TCHM		Rendimiento (%)		TAHM	
CC 01-1940	**1**	10.43	a*	10.6	a	1.10	a
CC 85-92	**1**	8.92	b	10.4	b	0.92	b
CC 01-1940	**2**	9.95	a	10.8	a	1.06	a
CC 85-92	**2**	8.71	b	10.8	a	0.93	b
CC 01-1940	**3**	9.85	a	10.8	a	1.05	a
CC 85-92	**3**	8.50	b	10.8	a	0.91	b
CC 01-1940	**4**	9.82	a	11.0	a	1.06	a
CC 85-92	**4**	8.59	b	10.9	a	0.93	b
CC 01-1940	**5**	9.91	a	10.8	a	1.06	a
CC 85-92	**5**	8.58	b	10.8	a	0.92	b
CC 01-1940	**6**	9.81	a	10.9	a	1.05	a
CC 85-92	**6**	8.72	b	10.8	a	0.94	a
CC 01-1940	**7**	10.20	a	10.5	a	1.07	a
CC 85-92	**7**	8.70	a	10.8	a	0.93	a

* Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente. Prueba de T al 10%.

En cuanto al rendimiento, los resultados muestran en el análisis descriptivo que CC 01-1940 tuvo valores de rendimiento superiores a CC 85-92 en seis de los veintiún casos en los cuales se realizó la comparación (**Figura 31**).

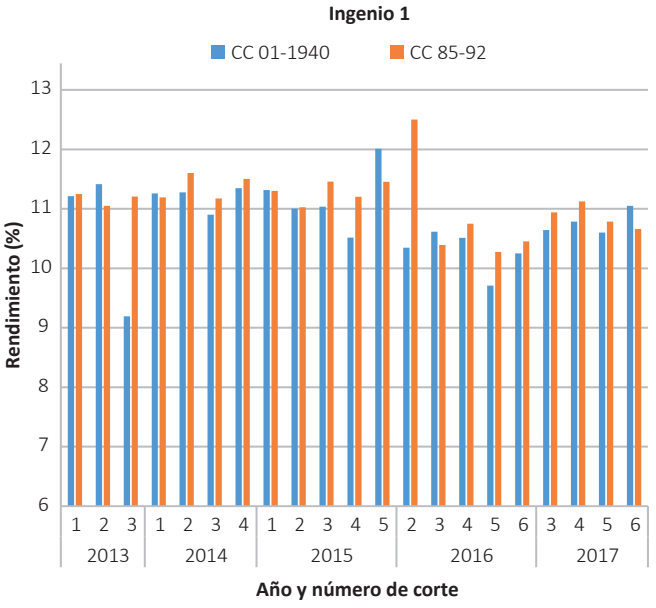


Figura 31. Rendimiento de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2013-2017 por corte en el Ingenio 1.

En el modelo lineal general el análisis de varianza mostró efectos significativos para los factores variedad y cortes, la interacción variedad por corte y para la covariable edad al cuadrado. Dada la significancia de la interacción variedad x corte, se muestran en el **Cuadro 24** las comparaciones planeadas por corte entre las variedades. Se observa que en rendimiento la variedad CC 01-1940 superó a CC 85-92 en la plantilla y en el resto de cortes fueron iguales.

En conclusión, los anteriores resultados evidencian que CC 01-1940 muestra hasta el séptimo corte un buen desempeño en rendimiento 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 TAHM (**Figura 32**) la variedad CC 01-1940 registró valores superiores a CC 85-92 en diecinueve de los veintiún casos en los cuales se hizo la comparación en el período 2013 a 2017. La diferencia en esos diecinueve fluctuó entre 0.04 y 0.63 TAHM a favor de CC 01-1940.

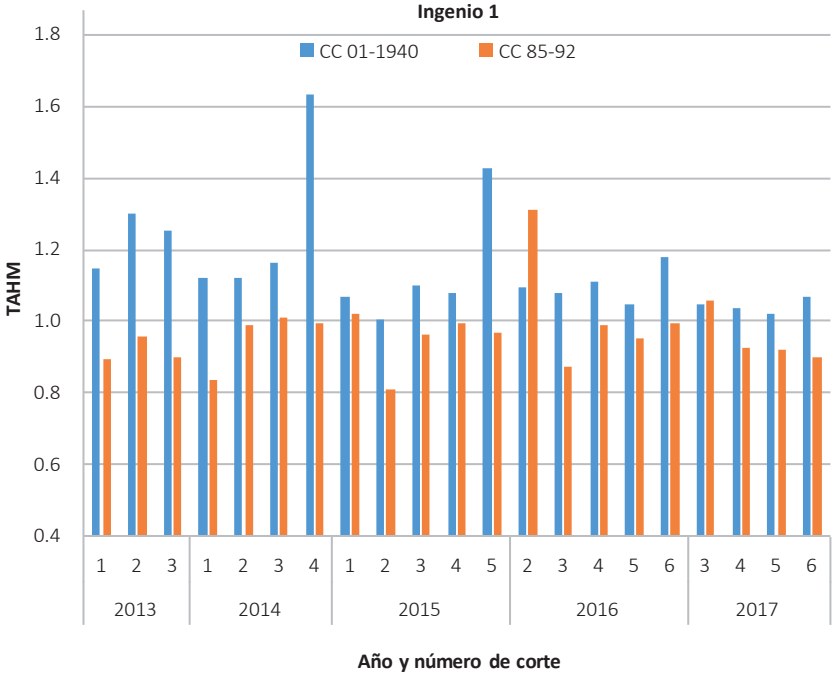


Figura 32. TAHM de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2013-2017 por corte en el Ingenio 1.

En el modelo lineal general el análisis de varianza mostró efectos significativos para los factores variedad y cortes, la interacción variedad por corte y para la covariable edad al cuadrado. Dada la significancia de la interacción variedad x corte, se muestran en el **Cuadro 25** las comparaciones planeadas por corte entre las variedades. Se observa que en TAHM la variedad CC 01-1940 superó a CC 85-92 hasta el quinto corte.

En conclusión, los anteriores resultados evidencian que CC 01-1940 muestra hasta el séptimo corte un buen desempeño en TAHM 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.

Finalmente, la **Figura 33** muestra por variedad-corte, y para cada año, las edades promedias de cosecha. Se observa que en el período de comparación 2013 a 2017 la variedad CC 01-1940 registró valores inferiores en cuanto a la edad de cosecha frente a CC 85-92. En la mayoría de los casos y en promedio se cosechó medio mes más temprano, lo que pudo incidir en haber tenido mejores resultados en TCHM y rendimiento.

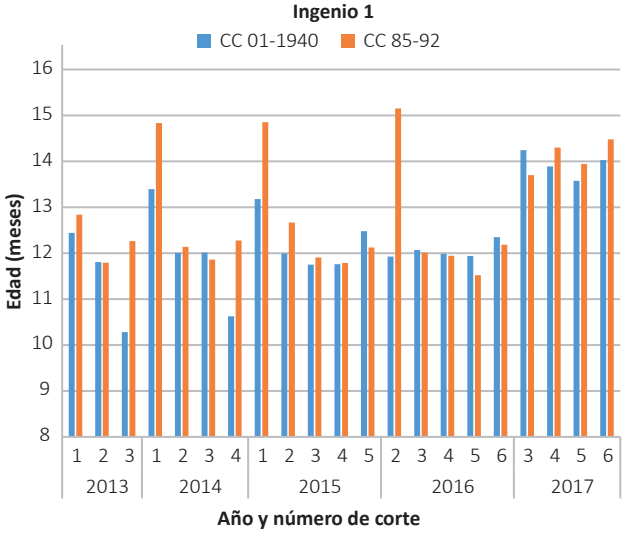


Figura 33. Edad de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2013-2017 por corte en el Ingenio 1.

Ingenio 2

Al observar el comportamiento de CC 85-92 desde el 2010 en el Ingenio 2 se encontró que el TCHM tuvo un bajón entre el 2011 y el 2012, por el efecto del fenómeno de La Niña. La CC 01-1940 mantuvo buena productividad siendo menos afectada por el fenómeno de La Niña, que la CC 85-92; y al comparar los promedios de TCHM, CC 01-1940 superó en 30 de los 40 casos a CC 85-92 (**Figura 34**).

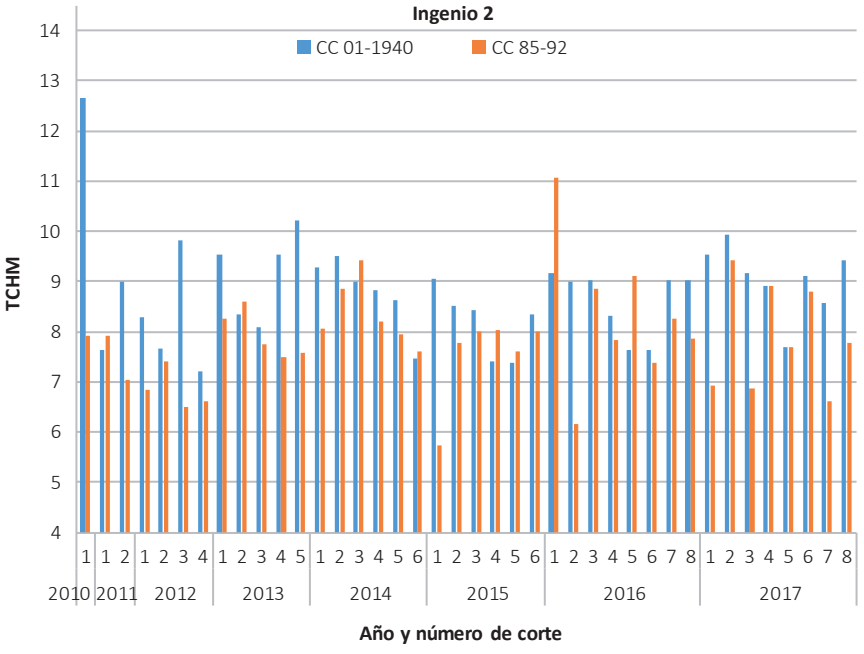


Figura 34. TCHM de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2010-2017 por corte en el Ingenio 2.

En el modelo lineal general para la variable TCHM, el análisis de varianza mostró efectos significativos para los factores variedad y cortes, la interacción variedad por corte y para las covariables. Dada la significancia de la interacción variedad x corte, se muestran en el **Cuadro 25** las comparaciones planeadas por corte entre las variedades. Se observa que en TCHM, la variedad CC 01-1940 superó a CC 85-92 hasta el cuarto corte; y para los cortes 5, 6 y 7, no hay suficiente evidencia para decir que las variedades difieren.

En conclusión, los anteriores resultados evidencian que CC 01-1940 muestra hasta el séptimo corte un buen desempeño en TCHM 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.

Cuadro 25. Comparación de medias para las variables TCHM y TAHM por variedad y corte, en el Ingenio 2.

Variedad	Corte	TCHM		Rendimiento (%)		TAHM	
CC 01-1940	**1**	9.43	a*	11.23	a	1.05	a
CC 85-92	**1**	8.40	b	10.99	b	0.92	b
CC 01-1940	**2**	9.24	a	11.43	a	1.05	a
CC 85-92	**2**	8.49	b	11.16	b	0.94	b
CC 01-1940	**3**	8.84	a	11.51	a	1.01	a
CC 85-92	**3**	8.14	b	11.18	b	0.91	b
CC 01-1940	**4**	8.37	a	11.61	a	0.97	a
CC 85-92	**4**	7.96	b	11.26	b	0.89	b
CC 01-1940	**5**	8.11	a	11.49	a	0.93	a
CC 85-92	**5**	7.90	a	11.30	b	0.89	b
CC 01-1940	**6**	7.75	a	11.58	a	0.90	a
CC 85-92	**6**	7.84	a	11.21	b	0.88	a
CC 01-1940	**7**	8.73	a	11.74	a	1.01	a
CC 85-92	**7**	7.97	a	11.28	b	0.90	b

* Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente. Prueba de T al 10%.

En cuanto al rendimiento los resultados muestran en el análisis descriptivo que la variedad CC 01-1940 tuvo valores superiores a CC 85-92, en 22 de los 40 casos en los cuales se realizó la comparación (**Figura 35**).

En el modelo lineal general el análisis de varianza mostró efectos significativos para los factores variedad y cortes, la interacción variedad por corte y para la covariable edad al cuadrado. Dada la significancia de la interacción variedad x corte, se muestran en el **Cuadro 25** las comparaciones planeadas por corte entre las variedades. Se observa que en rendimiento la variedad CC 01-1940 superó a CC 85-92 en los siete cortes.

En conclusión, los anteriores resultados evidencian que la variedad CC 01-1940 muestra hasta el séptimo corte un buen desempeño en rendimiento 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.

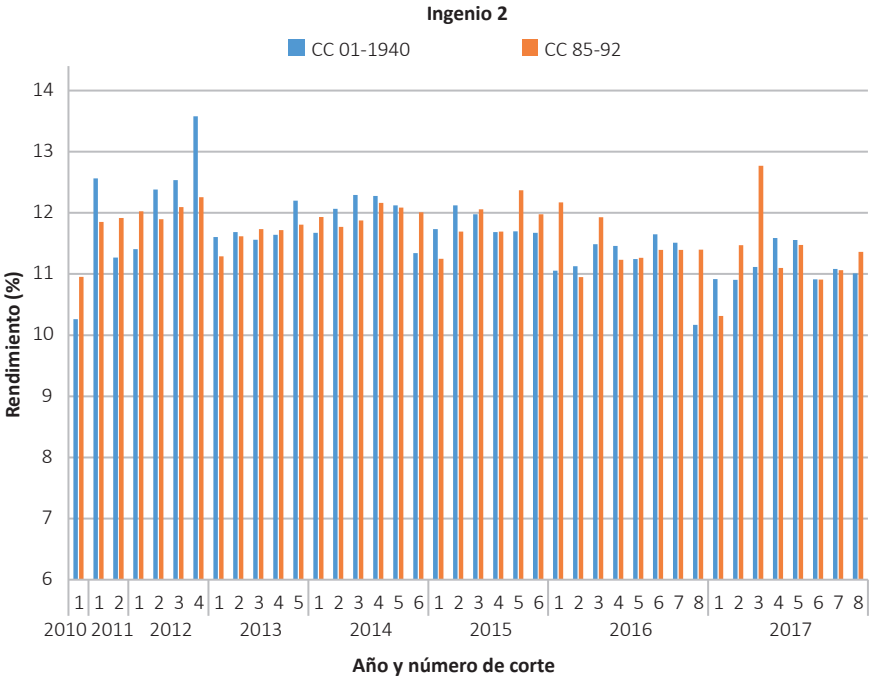


Figura 35. Rendimiento de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2010-2017 por corte en el Ingenio 2.

En TAHM (**Figura 36**) la variedad CC 01-1940 registró valores superiores a CC 85-92 en 31 de los 40 casos en los cuales se hizo la comparación en el período 2010 a 2017.

En el modelo lineal general para la variable TAHM el análisis de varianza mostró efectos significativos para los factores variedad y cortes, la interacción variedad por corte y para las covariables. Dada la significancia de la interacción variedad x corte, se muestran en el **Cuadro 25** las comparaciones planeadas por corte entre las variedades. Se observa que en TAHM, la variedad CC 01-1940 superó a CC 85-92 hasta el quinto corte. En el corte 6 no hay suficiente evidencia para decir que las variedades difieren; y nuevamente, en el séptimo corte vuelve a superarla.

En conclusión, los anteriores resultados evidencian que la variedad CC 01-1940 muestra hasta el séptimo corte un buen desempeño en TAHM comparada con CC 85-92.

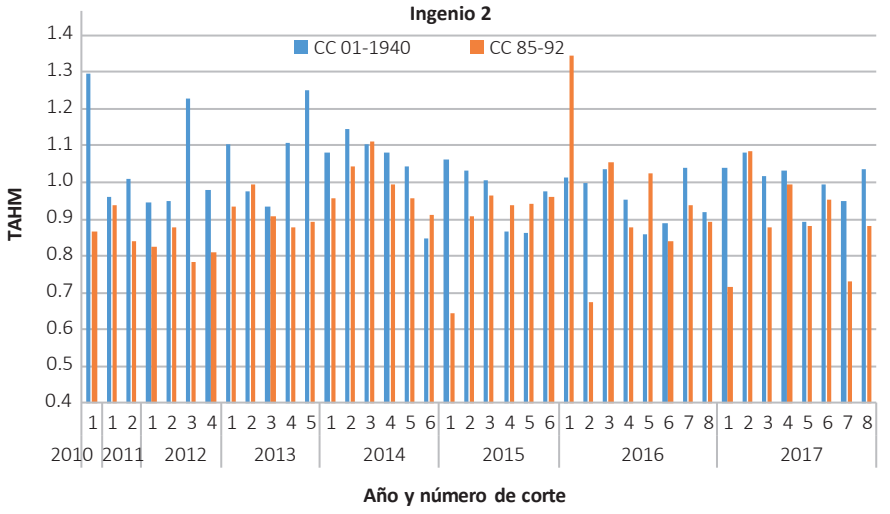


Figura 36. TAHM de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2010-2017 por corte en el Ingenio 2.

Finalmente, con respecto a la edad (**Figura 37**), ambas variedades en este ingenio registraron valores similares en la mayoría de los casos en los cuales se hizo la comparación en el período 2010 a 2017. El promedio para ambas variedades fue de 12.8 meses.

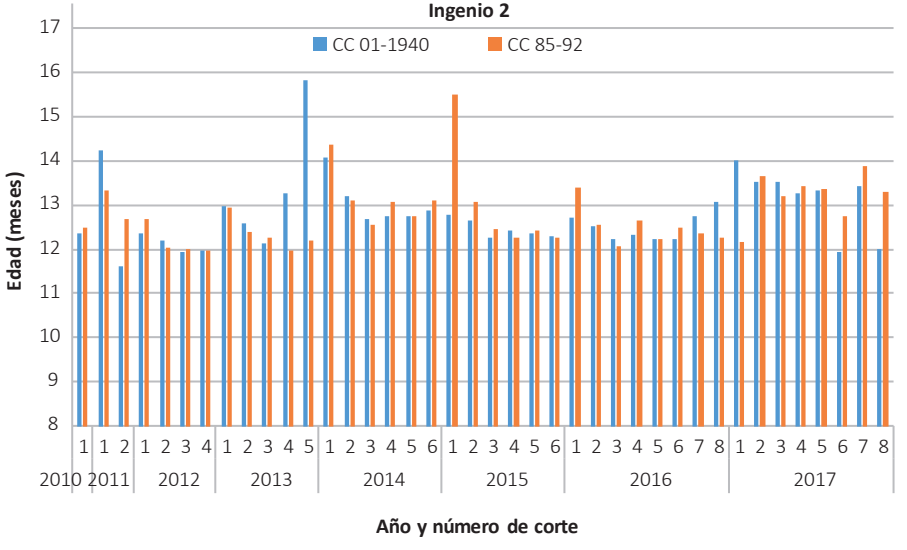


Figura 37. Edad de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2010-2017 por corte en el Ingenio 2.

Densidad de carga para el transporte de la caña de azúcar

Alejandro Estrada Bedón[1] y Héctor Alberto Chica Ramírez[2]

Durante el año 2016, se evaluó la densidad de carga en vagones de transporte con las variedades CC 01-1940 y CC 85-92. Se utilizó información del registro histórico en báscula de la caña de azúcar ingresada en un ingenio de la región para el mes de agosto de 2016. Se registraron valores promedio de densidad de carga en vagones de 290 kg/m^3, para el transporte de caña de azúcar cosechada manualmente y para la cosecha mecánica de 416 kg/m^3 (**Cuadro 26**). Estos datos fueron validados mediante seguimiento al peso de la caña de azúcar ingresada en vagones de transporte, donde se encontraron valores promedio de densidad de carga de 289 kg/m^3 para el caso de la cosecha manual y para la cosecha mecánica de 408 kg/m^3 (**Cuadro 27**).

Cuadro 26. Valores promedio de densidad de carga de la variedad CC 01-1940 obtenidos de datos registrados en el mes de agosto de 2016

Variedad CC 01-1940	Densidad de carga (kg/m^3)	Peso promedio de caña - vagón HD 12000 (ton)	Número de registros	Volumen vagón (m^3)
Cosecha manual	290	13.4	126	46
Cosecha mecánica	416	19.2	132	46

Cuadro 27. Valores promedio de densidad de carga de la variedad CC 01-1940 obtenidos del seguimiento a vagones de transporte.

Variedad CC 01-1940	Densidad de carga (kg/m^3)	Peso promedio de caña - vagón (ton)	Número de registros	Volumen vagón (m^3)
Cosecha manual	289	15.9	24	55
Cosecha mecánica	408	24.5	28	60

1. Ingeniero agroindustrial, M. Sc., ingeniero de logística proyecto CATE Cenicaña, aestrada@cenicana.org
2. Ingeniero Agrónomo, M. Sc., biometrista Cenicaña, hachica@cenicana.org

El mismo análisis se realizó con la información de los meses de mayo a junio de 2016 para la variedad CC 85-92 en dos ingenios de la región. Se registraron valores promedio de densidad de carga de 284 kg/m^3 para el transporte de caña de azúcar proveniente de cosecha manual y para la cosecha mecánica de 402 kg/m^3 (**Cuadro 28**). Estos datos fueron validados mediante seguimiento al peso de la caña de azúcar ingresada en vagones de transporte donde se encontraron valores promedio de densidad de carga de 280 kg/m^3, para el caso de la cosecha manual y para la cosecha mecánica de 397 kg/m^3 (**Cuadro 29**).

Cuadro 28. Valores promedio de densidad de carga de la variedad CC 85-92 obtenidos de datos registrados en los meses de mayo a junio de 2016.

Variedad CC 85-92	Densidad de carga (kg/m^3)	Peso promedio de caña - vagón (ton)	Número de registros	Volumen vagón (m^3)
Cosecha manual	284	13.1	108	46
Cosecha mecánica	402	18.5	127	46

Cuadro 29. Valores promedio de densidad de carga de la variedad CC 85-92 obtenidos de seguimiento a vagones de transporte obtenidos del registro histórico.

Variedad CC 85-92	Densidad de carga (kg/m^3)	Peso promedio de caña - vagón (ton)	Número de registros	Volumen vagón (m^3)
Cosecha manual	280	15.4	18	55
Cosecha mecánica	397	23.8	25	60

Con información procedente de actividad comercial y de actividad experimental se consolidó un análisis del tipo correlacional en donde se manejaron dos factores: el tipo de corte (cosecha manual y mecánica) y la variedad (CC 01-1940 y CC 85-92), con un total de 588 (vagones) observaciones y bajo un modelo bifactorial en arreglo completamente aleatorio. La variable respuesta fue la densidad de carga por vagón (kg/m^3).

El análisis de varianza mostró efecto del tipo de corte (p-valor < 0.0001), de la variedad (p-valor < 0.0001) y de la interacción entre estos factores (p-valor = 0.0094). Al ser la interacción significativa (es decir, que la diferencia de densidad entre dos variedades depende del tipo de corte) se realizaron análisis segmentados para comparar las variedades dentro de cada tipo de corte. Los resultados se muestran en el **Cuadro 30**.

Se aprecia que en el transporte de caña de azúcar cosechada manualmente la densidad en los vagones; al cosechar la variedad CC 01-1940, superó significativamente a la variedad CC 85-92 en 6,4 kg/m^3, en tanto que, en cosecha mecanizada, la diferencia fue de 13,2 kg/m^3. En general esto representa una ventaja en la operación de transporte de la variedad CC 01-1940, al poderse transportar una mayor cantidad de caña de azúcar frente a la variedad CC 85-92.

Cuadro 30. Análisis de comparación de medias para la variable densidad de carga por tipo de corte y variedad.

Tipo de corte	Variedad	Densidad de carga (kg/m^3) *
Cosecha manual	CC 01-1940	288.7 a
	CC 85-92	282.3 b
Cosecha mecánica	CC 01-1940	413.6 a
	CC 85-92	400.4 b

* La comparación entre variedades se debe leer por cada tipo de corte.

** Dentro de cada tipo de corte, densidades promedio con letra diferente denotan diferencias estadísticas al 1% de significancia con la prueba de Bonferroni.

Pérdidas de sacarosa entre corte y molienda

Nicolás Javier Gil Zapata[1], Tatiana Sánchez Motta[2],
Andrés Felipe Ospina Patiño[3], Julián David Montes Posso[4],
Juan Gabriel Rodríguez Sarasty[5]

Introducción

La metodología para estudiar las pérdidas de sacarosa asociadas a la quema y a tiempos de permanencia se basa en el seguimiento al comportamiento de la sacarosa en jugo. Para tal efecto se extrae jugo mediante punzón, en diferentes puntos del tallo, y se analiza una muestra compuesta del jugo obtenido mediante cromatografía líquida de alta resolución, lo que permite realizar seguimiento a la sacarosa, glucosa, fructosa y etanol durante el tiempo de evaluación. Es importante resaltar que se realiza seguimiento al peso de la muestra para corregir el resultado del efecto por deshidratación que sufre el tallo.

Pérdidas de sacarosa durante la cosecha

Pérdidas de sacarosa asociadas a la quema

Para estimar las pérdidas de sacarosa asociadas a la quema se seleccionaron 18 cepas de la variedad CC 01-1940, las cuales se encontraban sembradas en la hacienda Chamorras, zona agroecológica 11H1, con una edad de 13.8 meses. De las cepas seleccionadas se tomaron 3 tallos de cada una; siendo cada tallo parte de una misma muestra. Se extrajo jugo mediante punzón previo a la quema y posterior a esta para establecer la pérdida por esta labor. Los resultados obtenidos se presentan en el **Cuadro 31**.

1. Ingeniero químico, Ph. D., director Programa de Procesos de Fábrica Cenicaña, njgil@cenicana.org
2. Química, Ph. D., química jefa Cenicaña, tsanchez@cenicana.org
3. Ingeniero mecánico, ingeniero de procesos mecánicos Cenicaña, afospina@cenicana.org
4. Ingeniero mecánico, ingeniero de procesos mecánicos Cenicaña, jdmontes@cenicana.org
5. Ingeniero químico, ingeniero de procesos químicos Cenicaña, jgrodriguez@cenicana.org

Cuadro 31. Pérdida de sacarosa asociada a la quema en la variedad CC 01-1940.

Variedad	Pérdida de sacarosa por quema	CV
CC 01-1940	3.5%	0.50%
Histórico Cenicaña (2007-2009)	2.5%-3.5%	

Respecto a la variedad CC 01-1940, es importante resaltar que el valor registrado es un valor promedio, ya que se obtuvieron pérdidas entre 0.66% hasta 7.41%. Estas variaciones dependen de las condiciones en las que se encuentre el cultivo al momento de la quema, afectación por plagas o puntos expuestos que generen una mayor vulnerabilidad al ataque de microorganismos.

Pérdidas de sacarosa asociadas a diferentes tipos de corte

Manual quemado

Para cuantificar la pérdida de sacarosa respecto al tiempo de permanencia en vagones en el corte manual quemado, se realizaron diferentes combinaciones de materia extraña de acuerdo con los promedios manejados por la industria (**Cuadro 32**) y se realizaron evaluaciones por un período de 48 horas. Estos seguimientos se realizaron a partir de la quema, es decir, los factores de pérdida solo corresponden al tiempo de permanencia, excluyendo la pérdida por quema.

Cuadro 32. Pérdida de sacarosa asociada a tiempos de permanencia en vagones en la variedad CC 01-1940 para el corte manual quemado.

Condición	Pérdida de sacarosa por hora de permanencia	R^2	CV
CC 01-1940 pérdida promedio	0.24%	0.82	0.41%
mineral 0 vegetal 2	0.25%	0.93	
mineral 0 vegetal 4	0.49%	0.73	
mineral 2 vegetal 0	0.15%	0.88	
mineral 2 vegetal 2	0.27%	0.83	
mineral 2 vegetal 4	0.40%	0.99	
mineral 4 vegetal 0	0.36%	0.68	
mineral 4 vegetal 2	0.36%	0.99	
mineral 4 vegetal 4	0.37%	0.94	
Promedio manual quemado (2015-2017)	0.24%	-	0.06%

Se evidenció que, en los casos donde se aumentó el porcentaje de materia extraña, se generó un mayor deterioro respecto a los escenarios en los que se cuenta con bajos niveles de materia extraña. Este resultado confirma la importancia de disminuir la materia extraña con la que se ingresa la caña de azúcar a patios para evitar disminuciones significativas de la sacarosa. El comportamiento de esta variedad, bajo este tipo de corte, se encuentra muy cercano al valor promedio de otras variedades del sector.

Mecánico quemado

Para establecer la pérdida de sacarosa, respecto al tiempo de permanencia en vagones en el corte mecánico quemado, se realizaron diferentes combinaciones de materia extraña de acuerdo con las condiciones que se pueden controlar con la cosechadora: un corte ideal sin cogollo y bajo porcentaje de materia extraña, un corte incluyendo el cogollo y un corte con extractores apagados que incluye un alto porcentaje de materia extraña (**Cuadro 33**). Los seguimientos al comportamiento de la sacarosa se realizaron durante un período de 36 horas.

Cuadro 33. Pérdida de sacarosa asociada a tiempos de permanencia en vagones en la variedad CC 01-1940 para el corte mecánico quemado.

Variedad	Materia extraña (%)	Pérdida de sacarosa por hora de permanencia	R^2	CV
CC 01-1940 pérdida promedio	-	0.47%	0.96	0.39%
Tallos limpios	0	0.19%	0.86	
Corte ideal, sin cogollo y bajo porcentaje de materia extraña	1.20%	0.46%	0.87	
Con cogollo	2.20%	0.52%	0.90	
Extractores apagados	3.00%	0.58%	0.75	
Promedio mecánico quemado (2015-2017)	-	0.52%	-	0.24%

Al igual que en el caso del corte manual quemado se evidenció que, al aumentar el porcentaje de materia extraña presente durante el tiempo de almacenamiento, se aumenta el porcentaje de pérdida de sacarosa por hora de permanencia. También en este caso, la variedad CC 01-1940 se encuentra cercana al promedio para este tipo de corte para otras variedades del sector.

Es importante tener en cuenta que la tasa de deterioro en el corte mecánico aumenta, respecto al corte manual por la mayor cantidad de sitios expuestos (tamaño del trozo ~20 cm) al ataque de microrganismos; también, propiciar una mayor deshidratación del tallo, respecto al corte manual en el que solo se cuenta con dos sitios de acceso.

Manual verde

Para establecer la pérdida de sacarosa respecto al tiempo de permanencia en vagones en el corte manual en verde, se realizaron diferentes combinaciones de materia extraña de acuerdo con los promedios manejados por la industria con seguimientos en el tiempo hasta 48 horas (**Cuadro 34**).

Cuadro 34. Pérdida de sacarosa asociada a tiempos de permanencia en vagones en la variedad CC 01-1940 para el corte manual en verde.

Condición	Pérdida de sacarosa por hora de permanencia	R^2	CV
Pérdida promedio CC 01-1940	0.30%	0.91	0.50%
vegetal 0 mineral 0	0.08%	0.95	
vegetal 0 mineral 2	0.34%	0.66	
vegetal 0 mineral 4	0.41%	0.80	
vegetal 6 mineral 0	0.22%	0.82	
vegetal 6 mineral 2	0.29%	0.91	
vegetal 6 mineral 4	0.49%	0.45	
Promedio manual verde (2015-2017)	0.17%		0.24%

Respecto al corte manual quemado se evidencia que la tasa de deterioro en los cortes en verde es superior. Esto puede estar asociado al porcentaje de materia extraña que acompaña este tipo de corte durante su tiempo de permanencia y al igual que en los cortes con caña de azúcar quemada. Al aumentar las cantidades de materia extraña, se aumenta la tasa de pérdida de sacarosa por hora de permanencia.

Respecto a los promedios por tipo de corte, la variedad CC 01-1940 presentó una sensibilidad ligeramente mayor al deterioro por tiempos de permanencia; sin embargo, es importante mencionar que esta tasa de deterioro varía de acuerdo con las condiciones del cultivo (infestación por plagas e infección por patógenos) y las condiciones climáticas al momento de la cosecha (temperatura y humedad), haciendo que en algunos casos esta se igual al promedio general.

Mecánico en verde

Para establecer la pérdida de sacarosa respecto al tiempo de permanencia en vagones en el corte mecánico en verde, se realizaron diferentes combinaciones de materia extraña de acuerdo con las condiciones que se pueden modificar en la cosechadora. Al igual que en el escenario mecánico quemado, se manejó un escenario de tallos limpios, un escenario ideal sin cogollo y bajo porcentaje de materia extraña, un escenario con cogollo y finalmente un escenario con extractores apagados, con seguimientos en el tiempo hasta 12 horas (**Cuadro 35**).

Cuadro 35. Pérdida de sacarosa asociada a tiempos de permanencia en vagones en la variedad CC 01-1940 para el corte mecánico en verde.

Variedad	Materia extraña %	Pérdida de sacarosa por hora de permanencia	R^2	CV
CC 01-1940 pérdida promedio	-	1.77%	0.81	0.35%
Tallos limpios	0	1.52%	0.99	
Corte ideal	2.1%	1.70%	0.93	
Con cogollo	4.2%	2.26%	0.87	
Extractores apagados	16.0%	3.30%	0.99	
Promedio mecánico quemado (2015-2017)	-	1.10%		0.19%

En este tipo de corte se observó un deterioro mayor respecto a los demás sistemas evaluados, debido al tamaño de los trozos de caña de azúcar (~20 cm) y al contacto con la materia extraña que facilita el ingreso de microorganismos, causando un rápido descenso en el contenido de la sacarosa. Para este tipo de sistema de cosecha se recomienda disminuir los tiempos de permanencia entre corte y molienda y reducir el porcentaje de materia extraña mediante la variación de la altura de corte y el funcionamiento de los extractores de la cosechadora.

Composición de fibras

En la búsqueda de evaluar los comportamientos de las diferentes variedades de caña de azúcar, tanto en su desarrollo, como en el proceso de extracción, molienda y calderas, se desarrolló una metodología para separar los componentes de la fibra en tres grupos: fibra larga, fibra corta y médula, como lo describe la **Foto 1.**

Fibra larga
1 cm - 12 cm

Fibra corta
0.1 cm - 1 cm

Médula
interior a 0.1 cm

Foto 1. Componentes de la fibra.

El conocer esta composición en las variedades de caña de azúcar se puede contar con un indicador de la rigidez de la caña de azúcar, relacionada con la tendencia o resistencia al volcamiento en campo. A su vez, en calidad de caña de azúcar, es un indicador del comportamiento de la variedad desde las etapas tempranas de la selección y evaluación que ayuda a robustecer el proceso de selección de variedades. En la fábrica sirve como indicador para predecir comportamientos con respecto al agarre y densidad de materiales; y por último, la composición de las partículas del bagazo.

Caracterización en tallos limpios

Para llevar a cabo este estudio, en el año 2016, se caracterizaron en función de sus componentes de fibra las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, las cuales hacían parte de cinco pruebas regionales distribuidas en diferentes puntos del valle del río Cauca, como lo describe el **Cuadro 36**.

Cuadro 36. Ubicación de las pruebas regionales evaluadas.

Ubicación	Edad de cosecha	Zona Agroecológica	Condición	Edad de cosecha
Norte, Riopaila	13.1	6H1	Seco, profundo	13.1
Sur, La Cabaña	13.3	5H5	Húmedo	13.3
Sur, Incauca	13.4	3H3	Húmedo, profundo	13.4
Sur, Mayagüez	14.4	10H5	Húmedo, pobremente drenado	14.4
Norte, Sancarlos	15.1	5H5	Húmedo	15.1

Los resultados que a continuación se presentan corresponden a evaluaciones en las zonas húmedas, en las que se sugiere el uso de la variedad CC 01-1940. Por tal motivo, se evidencia un buen desarrollo de esta variedad con diferencias mínimas en sus componentes de fibra, respecto a la variedad CC 85-92. Los resultados promedio obtenidos se describen en el **Cuadro 37**.

Cuadro 37. Resultados de componentes de fibra promedio en las cinco pruebas regionales.

Variedad		Fibra total (%)	Fibra larga (%)	Fibra corta (%)	Médula (%)
CC 01-1940	Promedio	14.85a	60.94a	9.72a	29.40a
	S	0.51	2.91	2.19	2.03
CC 85-92	Promedio	15.24a	61.96a	10.64a	27.38a
	S	0.50	2.86	2.18	1.98

S= Desviación estándar, a= misma letra indica que no se presentaron diferencias estadísticas.

Sin embargo, cuando la evaluación se realiza en zonas semisecas, se evidencian variaciones entre sus componentes de fibra con incrementos en los porcentajes de fibra corta y médula y por el contrario disminuciones de fibra larga como se describe en el **Cuadro 38**. Esta mayor variabilidad e incrementos de fibras de menor tamaño, conlleva generar diferencias en los comportamientos de desempeño de extracción en la fábrica (eventos de altos niveles de chute y bajos consums de torque), por pérdidas eventuales de agarre en los molinos, además de cambios en la combustión debido a la volatilidad de estos componentes, presentando una mayor cantidad de material inquemado.

Cuadro 38. Resultados de componentes de fibra promedio en la zona semiseca.

Variedad		Fibra total (%)	Fibra Larga (%)	Fibra corta (%)	Medula (%)
CC 01-1940	Promedio	13.71a	57.22a	12.56a	34.47a
	S	10.53	4.83	3.88	1.50
CC 85-92	Promedio	14.29a	61.27b	9.10b	29.62b
	S	4.81	4.81	0.35	4.46

S= Desviación estándar, a,b= diferentes letras implican diferencias estadísticas.

Seguimientos en materiales de fábrica

La variedad CC 01-1940 se ha evaluado en 3 ingenios del sector (María Luisa, 9 y 10 de junio 2016; Mayagüez, 11 de agosto 2016 y Riopaila Castilla, planta Castilla, septiembre y octubre de 2016). Durante estas evaluaciones solo en el ingenio Riopaila Castilla, planta Castilla, se tuvo como testigo la variedad CC 85-92.

Las condiciones climáticas del año 2016 influyeron significativamente en los porcentajes de fibra total del sector, evidenciando disminuciones a nivel generalizado durante el segundo y tercer trimestre del año (**Figura 38**). Este comportamiento se observó en los seguimientos en los ingenios María Luisa y Mayagüez, mostrando no solo afectaciones en el valor total de fibra sino variaciones en los componentes de fibra, con mayores porcentajes de médula y fibra corta presentes en condiciones de mayor déficit hídrico, como se observa en la **Figura 39.**

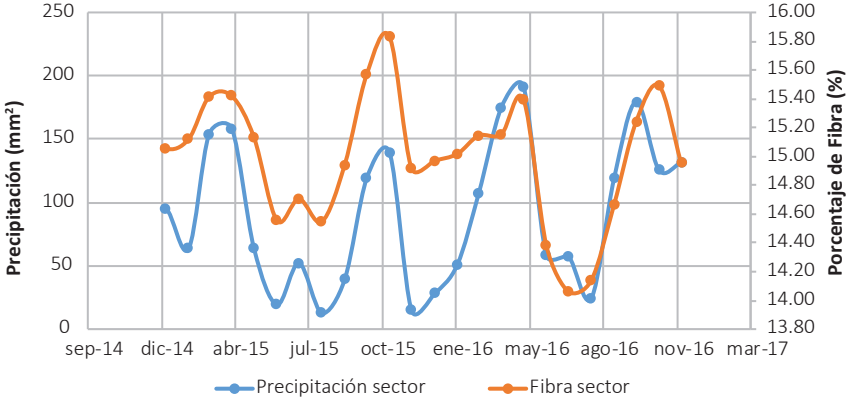


Figura 38. Precipitación y fibra industrial del sector entre diciembre de 2014 y noviembre de 2016

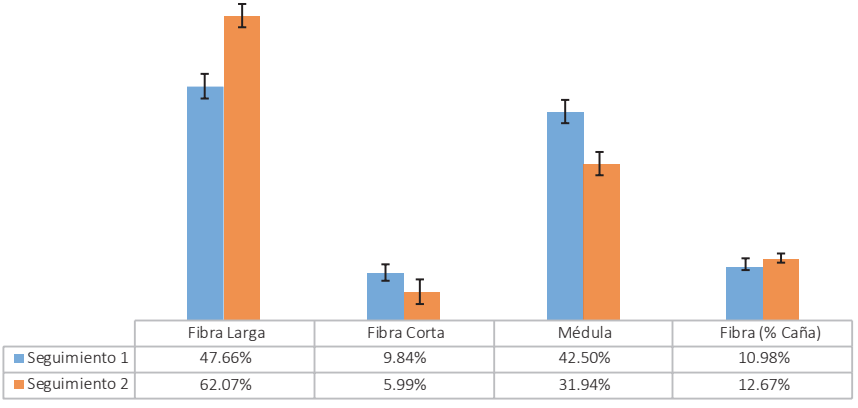


Figura 39. Composición de fibras en caña preparada, variedad CC 01-1940.

En las tres pruebas se caracterizó el poder calorífico de estos componentes, sin encontrar diferencias significativas entre ellos como se observa en el **Cuadro 39**.

Durante las pruebas de molienda se caracterizaron las composiciones porcentuales de caña de azúcar preparada ingresando al primer molino. En el **Cuadro 40** se resumen las composiciones porcentuales en términos de sacarosa y fibra en caña de azúcar en los tres ingenios donde se realizaron las pruebas con la variedad CC 01-1940 y sus respectivas variedades testigo.

Cuadro 39. Poder calorífico en unidades de BTU/lb (base seca).

	Fibra Larga	Fibra Corta	Médula
Tallos limpios	7183-7551	7117-7246	7296-7446
Caña Preparada	7266-7491	7267-7435	7390-7500
Bagazo	7428-7559	7333-7360	7103-7330

Cuadro 40. Composición porcentual de caña preparada.

	Ingenio 1		Ingenio 2	Ingenio 3	
	CC 01-1940	Testigo CC 93-4418	CC 01-1940	CC 01-1940	Testigo CC 85-92
% Sacarosa Caña Preparada	11.46%	11.63%	13.31%	14.20%	14.10%
% Fibra Caña Preparada	13.48%	15.36%	11.75%	11.34%	13.25%

En términos generales se encontró que la sacarosa en caña de azúcar de la variedad CC 01-1940 presentó valores similares con respecto a las variedades testigo. Sin embargo, el contenido de fibra fue notoriamente menor con la variedad CC 01-1940.

Los principales indicadores de molienda obtenidos durante las pruebas se muestran en el (**Cuadro 41**) y los indicadores del desempeño de extracción en el Cuadro 42.

Cuadro 41. Indicadores de molienda.

	Ingenio 1		Ingenio 2	Ingenio 3	
	CC 01-1940	Testigo CC 93-4418	CC 01-1940	CC 01-1940	Testigo CC 85-92
Imbibición (% Caña)	18.95%	21.49%	27.70%	23.69%	30.64%
Imbibición (% Fibra)	140.59%	139.92%	235.40%	208.97%	231.23%
Bagazo (% Caña)	27.22%	30.92%	23.91%	20.37%	26.21%
Jugo diluido (% Caña)	91.73%	90.57%	103.02%	103.32%	104.42%

Cuadro 42. Indicadores de desempeño

	Ingenio 1		Ingenio 2	Ingenio 3	
	CC 01-1940	Testigo CC 93-4418	CC 01-1940	CC 01-1940	Testigo CC 85-92
Sacarosa (% Bagazo)	2.10%	2.01%	1.82%	1.68%	1.41%
Humedad (% Bagazo)	50.20%	49.67%	49.52%	46.96%	50.77%
Desempeño de Extracción	94.70%	94.38%	96.50%	97.58%	97.38%

En todas las pruebas con testigo se observó un mejor desempeño de extracción con la variedad CC 01-1940, asociado a que presentó contenidos de sacarosa en caña de azúcar similares a las testigos, pero con menor contenido de fibra. Sin embargo, el bagazo (% caña) fue notoriamente menor en todas las pruebas, asociado al menor contenido de fibra en caña.

En la prueba de molienda realizada en el Ingenio 3 se realizaron análisis de superficie específica (mm^2/g), con el objetivo de cuantificar el trabajo mecánico ejercido por lo equipos de preparación y el tándem sobre la fibra procesada. Según la información que se reporta en el **Cuadro 43**, para caña preparada y bagazo, la variedad CC 01-1940 presentó una superficie específica ma-

yor, comparada con la variedad testigo. Entre mayor sea este valor, mejor preparado o más “fino” es el material.

Cuadro 43. Superficie específica de caña y bagazo de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.

	Variedad CC 01-1940	Variedad Testigo CC 85-92
Caña Preparada, (mm^2/g)	3837	3206
Bagazo, (mm^2/g)	8144	8028

Adicionalmente, se caracterizó la composición de fibra en los bagazos de molinos, con el objetivo de observar su comportamiento a lo largo del tándem. La variedad CC 85-92 presentó un contenido de fibra larga mayor, con respecto a la variedad CC 01-1940, para el escenario de un primer molino. Sin embargo, para un bagazo final la composición de fibras no presentó diferencias significativas entre variedades (**Cuadro 44**).

Estos datos se correlacionan con los resultados obtenidos en superficie específica y se puede concluir que, para el caso de la prueba de molienda en este ingenio, el trabajo mecánico ejercido por los molinos sobre la fibra procesada permitió obtener un bagazo final con características similares en composición de fibras entre variedades.

Cuadro 44. Composición de fibras en los materiales de molinos de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.

	Variedad	Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5	Molino 6
Fibra Larga	CC 85-92	60.5%	55.8%	51.4%	56.6%	48.6%	49.3%
	CC 01-1940	52.9%	52.1%	51.2%	50.4%	50.5%	47.9%
Fibra corta	CC 85-92	3.2%	4.0%	6.4%	5.6%	10.3%	8.3%
	CC 01-1940	5.3%	5.6%	4.9%	6.2%	5.9%	7.2%
Médula	CC 85-92	36.3%	40.2%	42.2%	37.8%	41.1%	42.4%
	CC 01-1940	41.8%	42.3%	43.9%	43.4%	43.6%	44.9%
Fibra % Bagazo	CC 85-92	31.7%	34.5%	34.8%	24.9%	37.7%	38.8%
	CC 01-1940	32.4%	32.7%	23.2%	21.8%	36.6%	38.1%

Recomendaciones en el proceso de molienda para eventos de caña con alto contenido de fibra corta y médula:

Recomendaciones durante la operación:

- Disminuir RPM buscando mejorar el agarre verificando constantemente la flotación y consumo de torque.
- Mantener la rugosidad en los dientes de maza (recuperación de soldadura en operación).
- Liberar parcialmente presión de los cabezotes hidráulicos de molinos intermedios.
- Aplicar maceración en el chute mejorando la densidad del material.
- En algunos casos se ha optado por abrir el yunque de la desfibradora, en busca de disminuir los finos en los materiales de molienda.

Recomendaciones de diseño:

- La altura de diseño mínima del chute debe ser de tres (3) metros, en busca de operar con un valor mínimo de nivel del 50% (1.5 metros).
- La divergencia mínima del chute debe ser mínimo de dos grados (2°).
- Modificar diseño del conductor intermedio Donnelly buscando condiciones y espacio para recuperación de rugosidad de la maza bagacera durante la operación.

Se busca:

- Mejorar densidad y presión de alimentación.
- Evitar tacos a lo alto del chute.
- Mejorar estabilidad de alimentación al molino, mejorar el agarre y disminuir reabsorción.

Recomendaciones en práctica de ajustes:

- Configuración de ajustes a bajas velocidades para una misma tasa disminuye la reabsorción y mejora el agarre del molino. Por ejemplo, para una misma tasa de molienda de 260 t/h, un tándem de seis molinos de 42” x 72” con desfibradora de trabajo mediano e imbibición % fibra de 200%, cumpliendo los valores recomendados de compactación. Es posible obtener una mejora en el desempeño de extracción del tándem en

0.12 unidades porcentuales al disminuir de 4.5 rpm a 3 rpm la velocidad de operación.

Área de generación de vapor

Durante las tres pruebas de molienda se incluyó la evaluación de la eficiencia térmica de la caldera principal del ingenio, al observar el efecto sobre la operación la alimentación con bagazo de la variedad CC 01-1940 como combustible.

En dos de los ingenios evaluados la caldera principal operó con 100% bagazo, mientras que en el tercer ingenio se operó en "*co-firing*" (combustión combinada de carbón y biomasa) con una mezcla másica de 15% carbón - 80% bagazo. En dicho ingenio no fue posible observar la incidencia en la operación del bagazo de la variedad CC 01-1940, debido a que el sistema de control autorregula la alimentación de combustible compensado por el requerimiento con carbón.

Se procesaron muestras de bagazo de la variedad CC 01-1940 para ser analizadas en el laboratorio y determinar el poder calorífico y el contenido de cenizas. El **Cuadro 45** resume los resultados de las variables físico-químicas de las muestras de bagazo tomadas en cada una de las pruebas de molienda.

No se encontraron diferencias significativas en el valor del poder calorífico de las muestras analizadas. Su variación se relaciona principalmente con la variación en el contenido de cenizas, el cual depende de factores como el contenido de materia extraña vegetal, mineral, el tipo y prácticas de corte, y las condiciones climáticas al momento de la cosecha.

Cuadro 45. Propiedades físico-químicas de las muestras de bagazo de la variedad CC 01-1940.

		Poder Calorífico Superior (Base Seca)		% Cenizas (Base Seca)	
	Tipo de Cosecha	Promedio (BTU/lb)	S (BTU/lb)	Promedio (%)	S (%)
Ingenio 1	Manual	7183	174	7.5%	2.1%
Ingenio 2	Manual	7460	2	6.5%	0.2%
	Mecanizada	7212	56	7.9%	0.2%
Ingenio 3	Mecanizada	7367	95	4.0%	2.1%

S: Desviación estándar

Durante una de las evaluaciones en fábrica se comparó la operación de la caldera empleando bagazo de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92. El **Cuadro 46** muestra el comparativo de las principales características de las muestras de bagazo obtenidas durante la evaluación en el ingenio piloto. Es importante destacar que el menor poder calorífico en el bagazo de la variedad CC 85-92 corresponde a una caña cosechada bajo condiciones de alta precipitación en días previos a la prueba, lo cual aumentó el contenido de materia extraña mineral y en consecuencia disminuyó el poder calorífico. También se destaca el menor valor del bagazo (% caña) de la variedad CC 01-1940, comparado con el bagazo (% caña) de la variedad testigo CC 85-92. Debido a esta condición, el ingenio sostuvo la generación de vapor durante una hora con bagazo de la variedad CC 01-1940, antes de recurrir a mezclarlo con bagazo almacenado en la bagacera, momento durante el cual se suspendió la evaluación en calderas.

La evaluación de eficiencia térmica de la caldera arrojó valores promedio de 63.5% durante la operación con bagazo de la variedad CC 01-1940, frente a 62.1% operando con bagazo de la variedad CC 85-92. La **Figura 40** muestra la distribución de pérdidas de energía en la caldera durante la evaluación de la eficiencia y se observa que la pérdida por inquemados es menor durante la operación con CC 01-1940, lo cual se adjudica al menor contenido de cenizas en bagazo respecto a la operación con CC 85-92.

Cuadro 46. Características del bagazo variedad CC 01-1940 *vs.* CC 85-92.

	Poder Calorífico Superior (BTU/lb)	% Cenizas (Base Seca)	Bagazo (% Caña)
CC 01-1940	7460	7.0%	20.4
CC 85-92	7138	8.5%	26.2

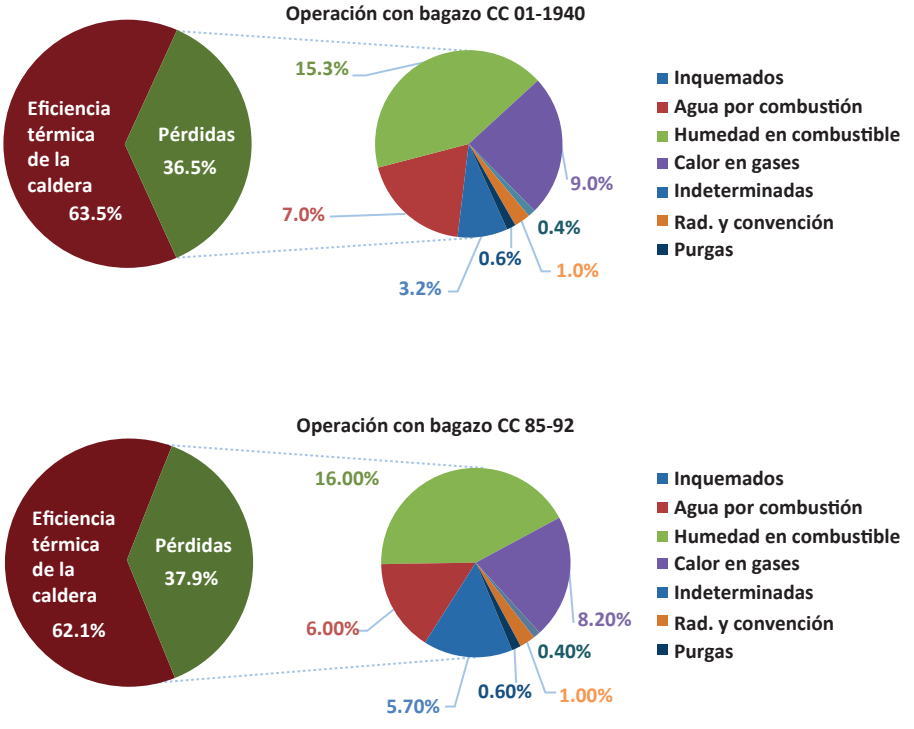


Figura 40. Resultados de la evaluación de la eficiencia térmica de la caldera con bagazo de CC 01-1940 frente a CC 85-92.

Durante la evaluación en otro de los ingenios con caldera operada a 100% bagazo, el valor del bagazo (% caña) para la variedad CC 01-1940 se estimó en 27.2%, el cual fue menor al de la variedad testigo CC 93-4418 cuyo valor estimado fue de 30.9%. Es importante mencionar que el ingenio procesó continuamente caña de la variedad CC 01-1940 durante un período de dos días. Al finalizar la prueba, el ingenio registró una reducción aproximada de 20% en el inventario de bagazo en la bagacera.

Recomendaciones para operación en calderas con bagazo de la variedad CC 01-1940

Según evaluaciones de composición de la fibra en caña la variedad CC 01-1940 es susceptible a presentar mayor cantidad de material fino (fibra corta y médula), el cual puede permanecer a lo largo del tándem de molienda hasta el bagazo que será alimentado a la caldera. Debido a que las partículas más finas son arrastradas fácilmente por el flujo ascendente y aumentan la posibilidad de inquemados (presencia de combustible sin quemar en la sección de separación de cenizas de la caldera), algunas estrategias para mitigar esta problemática son:

- Instalación de boquillas de aire terciario, el cual se emplea para proporcionar una cortina de aire en la parte superior del hogar para retener partículas ligeras y propensas a arrastres.
- Manejo automático de la relación aire primario - aire secundario, que permitirá reducir el efecto de arrastre generado por altas velocidades ascendentes.
- Aumentar la re-inyección de cenizas al hogar de la caldera, a fin de permitirle nuevamente al material inquemado la posibilidad de interactuar con oxidante (aire) en la zona de combustión e incinerarse completamente.

Caracterización de jugo ingresando a fábrica e impactos sobre el proceso

En las evaluaciones realizadas en tres ingenios el análisis se hizo sobre materiales en los que se tomaron muestras compuestas (conjunto de muestras puntuales) con molienda sostenida por un período de tres horas. Durante este período se tomaron muestras de los materiales de proceso de elaboración de azúcar con el fin de asegurar la trazabilidad hasta el punto de proceso en el que fuera posible, considerando los tiempos de retención en los equipos del proceso.

Impacto sobre la clarificación de jugo

El jugo diluido proveniente de la variedad CC 01-1940 presentó contenidos de fosfatos de 598 ± 115 mg/L, superiores al valor mínimo requerido para una clarificación satisfactoria (300 mg/L); esto se vio reflejado en los valores de turbiedad de jugo clarificado (medida a 900 nm) que a escala industrial estuvo

en 7.2 ± 2.9, valor correspondiente a jugos de buena calidad (se considera que un jugo con turbiedad menor a 10 unidades es de buena calidad).

El pH del jugo diluido estuvo en 5.5 ± 0.2, en un rango de acidez similar a lo presentado convencionalmente procesados en los ingenios colombianos (5.3 - 5.7); por lo que no se espera que esta variedad incida sobre los consumos de cal en el proceso de ajuste de pH en clarificación.

Color de jugos

En los registros de comportamiento históricos del sector se ha evidenciado que conforme se aumenta la cosecha mecanizada, se aumenta el color de los jugos. En las pruebas de molienda este comportamiento se repite para la variedad CC 85-92.

Un rasgo característico de la variedad CC 01-1940 es su tendencia a presentar jugos de menor color, aún en condiciones de cosecha mecánica (**Figura 41**). En general, la variedad presenta colores en jugo diluido menores a 10,000 unidades ICUMSA (U.I).

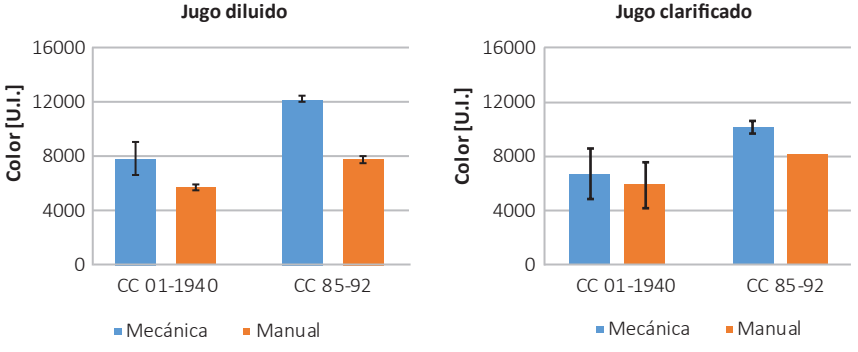


Figura 41. Comparativos de color en jugos diluido y clarificado en pruebas de molienda

Una consecuencia del menor color en los materiales es que se facilita la producción de azúcar blanco especial de color menor a 180 U.I. de forma consistente, sin aumentar el uso de insumos como azufre u otras alternativas decolorantes.

En uno de los ingenios donde la prueba se realizó por un tiempo más prolongado se logró evidenciar una reducción en el consumo de azufre del 22%, respecto al consumo histórico del ingenio (de 169 a 132 g/ tonelada de caña). Esta sería una contribución adicional a la reducción de costos.

Esta diferencia se puede mantener hasta meladura, siempre que las condiciones de proceso no contribuyan a generar color en etapas de proceso como la evaporación. Normalmente, esto sucede cuando se combinan incrementos en los tiempos de residencia en evaporadores y materiales con pH alcalino (>7.0).

Se recomienda verificar, siempre que sea posible, las condiciones de los sistemas de control de pH de encalado, calentamiento de jugo y control de niveles en evaporadores para asegurarse de que sus variaciones no se salgan de los valores esperados.

Pureza de jugos

En relación con la pureza de los jugos se evidenció en algunos casos el impacto del efecto del corte mecanizado sobre la reducción de la pureza, tanto en jugo de primera extracción como en diluido. Sin embargo, al comparar la pureza de jugos de primera extracción de la CC 01-1940, en corte manual, con el valor promedio de ese ingenio (promedio año 2016, período en que se completaron las evaluaciones) en el que predomina este tipo de corte, los valores fueron similares (**Figura 42**).

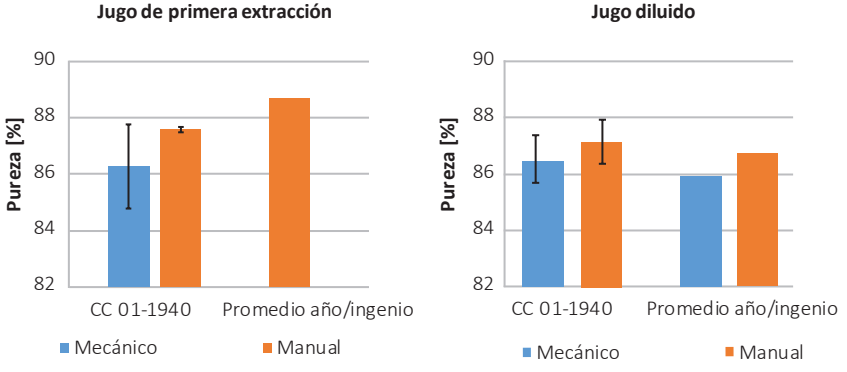


Figura 42. Comparativo de purezas de jugos de primera extracción y diluido.

La pureza de los jugos provenientes de la variedad CC 01-1940 estuvieron dentro de los valores promedio, si se compara con ingenios en los que predominan los dos tipos de corte; por consiguiente, no es de esperar que se requieran cambios en el manejo de la estación de cocimientos para alcanzar los objetivos de producción.

Impacto de la adopción comercial de CC 01-1940 en el ingenio La Cabaña

Jairo Valencia Arcila[1], Gustavo Medina Vargas[2], Wilfer López Arbeláez[3]

La evolución del cambio varietal y su impacto en el ingenio La Cabaña se analizó empleando los resultados de la información comercial correspondiente al período enero de 1995 a diciembre de 2009, donde las tres variedades más cosechadas en ese período fueron la CC 85-92, con un área de 93,716 hectáreas (41.1%) y 9,861,877 toneladas (44.8%), seguida de CC 84-75 con 39,458 hectáreas (17.3%) y 3,633,824 toneladas (16.5%); y la tercera fue la MZC 74-275 con 24,742 hectáreas (10.9%) y 2,404,084 toneladas (10.9%) (**Cuadro 47**). Durante ese período, hubo una gran expansión de la variedad CC 85-92, consiguiéndose un incremento del 8,3% en el TCH y 8,7% en TAHM, comparada con la variedad MZC 74-275.

Cuadro 47. Comportamiento de la productividad de las variedades CC 85-92, CC 84-75 y MZC 74-275 en el período 1995 - 2009 en ingenio La Cabaña.

Variedad	Área		TTC		TCH	EDAD meses	TCHM	RTO %	TAH	TAHM	Corte
	ha	%	toneladas	%							
CC 85-92	93,716	41.1%	9,861,877	44.8%	105.2	12.83	8.20	11.27	11.86	0.924	4.16
CC 84-75	39,458	17.3%	3,633,824	16.5%	92.1	13.02	7.07	11.25	10.36	0.795	4.25
MZC 74-275	24,742	10.9%	2,404,084	10.9%	97.2	12.63	7.69	11.05	10.73	0.850	5.27

En el año 2009, el área cosechada en la variedad CC 85-92 fue de 13,604 hectáreas (79.3%), seguida de la variedad CC 84-75 con 1985 hectáreas (11.6%). Este porcentaje era muy alto para una sola variedad y además la

1. Ingeniero agrónomo, jefe Departamento de Agronomía Ingenio La Cabaña, javalencia@ingeniolacabana.com
2. Ingeniero agrícola, gerente de campo, cosecha y taller agrícola Ingenio La Cabaña, gmedina@ingeniolacabana.com
3. Ingeniero topográfico, jefe de campo Ingenio La Cabaña, wlopez@ingeniolacabana.com

variedad comenzaba a mostrar una alta incidencia de roya café, generando una preocupación grande por el riesgo sanitario que se puede correr al depender de una sola variedad (**Cuadro 48**).

Cuadro 48. Toneladas y área cosechada por variedad en ingenio La Cabaña en el año 2009.

Variedad	TTC	Área	%
CC 85-92	1,472,139	13,604	79.3%
CC 84-75	190,262	1985	11.6%
Otras	135,967	1388	8.1%
MZC 74-275	20,366	168	1.0%
Total	**1,821,325**	**17,167**	**100.0%**

En el año 2010, fueron cosechadas las primeras 20 hectáreas de la variedad CC 01-1940 con unos resultados de sacarosa bajos comparados con la variedad CC 85-92, siendo el momento crítico el año 2012 cuando los resultados comerciales mostraban TCH inferiores a 100 TCH. Sin embargo, al analizar los históricos de esas suertes, los valores de CC 01-1940 eran superiores a las demás variedades sembradas previamente en ese mismo sitio del ingenio; razón por la cual, la gerencia de campo, con el aval de la junta directiva, tomó la decisión de incrementar el área por sus buenos resultados en producción, hasta convertirla en el año 2017, en la variedad más cosechada en el ingenio La Cabaña con un área de 7006 hectáreas, 43.5% del área total cosechada (**Figura 43**).

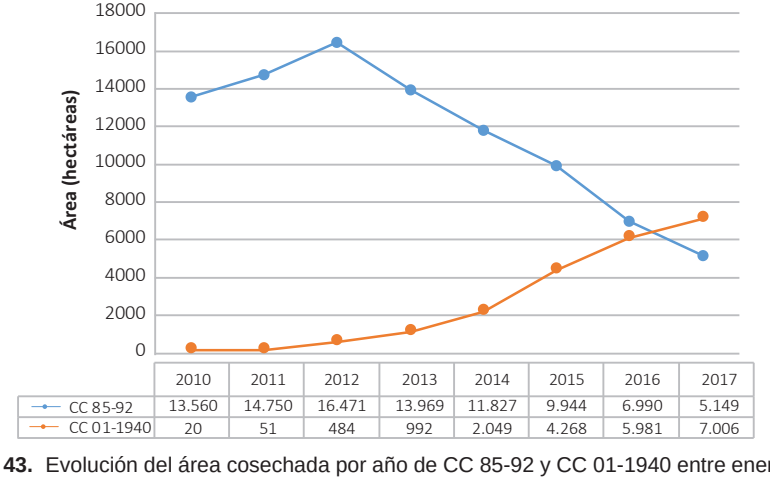
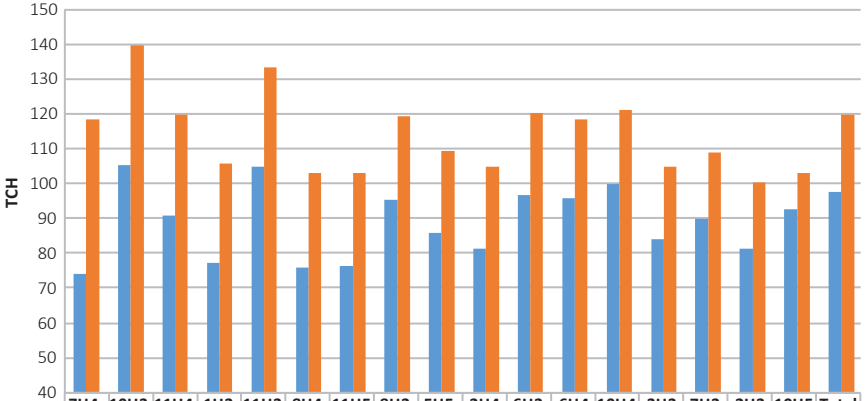


Figura 43. Evolución del área cosechada por año de CC 85-92 y CC 01-1940 entre enero 2010 y diciembre de 2017 en el ingenio La Cabaña.

Resultados por zona agroecológica período 2010-2017

Con el fin de cuantificar el impacto de la variedad CC 01-1940 en la productividad, en comparación con el testigo comercial CC 85-92, se utilizó la información comercial del período 2010-2017 y se hizo un análisis comparativo de TCH, rendimiento y TAHM en las 46 zonas agroecológicas del ambiente húmedo del ingenio La Cabaña donde estaban sembradas las dos variedades.

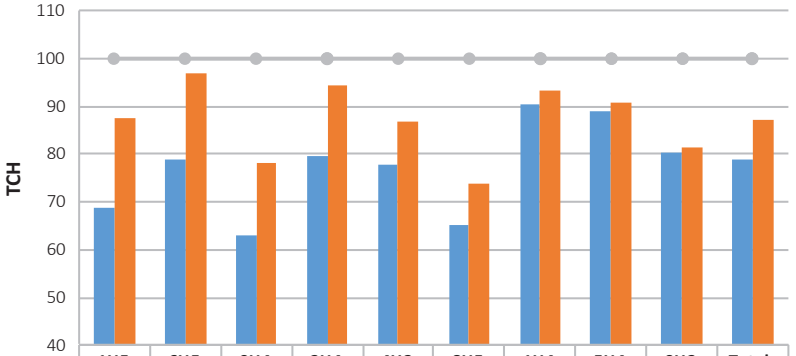
En la **Figura 44** se presenta el resultado de 17 zonas agroecológicas del ambiente húmedo con grupos de suelos de 1 a 11 donde se aprecia que la CC 01-1940 es superior a la CC 85-92 en promedio en 22.3 TCH (22.9% de aumento) durante este período analizado, con diferencias que van desde 4 TCH en la zona 10H5 hasta 44 TCH en la zona 7H4.



	7H4	10H3	11H4	1H3	11H3	8H4	11H5	8H3	5H5	2H4	6H3	6H4	10H4	3H3	7H3	2H3	10H5	Total
CC 85-92	74	105	91	77	105	76	76	95	86	81	97	96	100	84	90	81	93	97
CC 01-1940	119	140	120	106	133	103	103	119	110	105	120	118	121	105	109	100	103	120

Figura 44. Comportamiento del TCH por zona agroecológica de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010 - 2017. Ingenio La Cabaña.

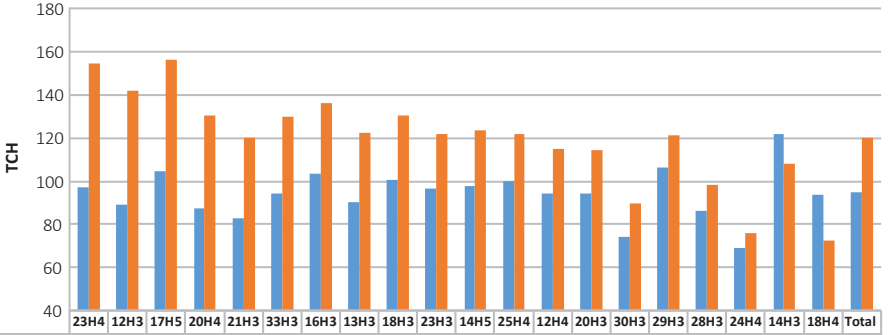
En la **Figura 45** se presenta el resultado de nueve zonas agroecológicas del ambiente húmedo con grupos de suelos de 1 a 9 donde las dos variedades no superan las 100 TCH. Sin embargo, la variedad CC 01-1940 es superior a la CC 85-92 en 8,1 TCH durante todo este período (10.3% de incremento), con ganancias que van desde 1 TCH en la zona 9H3 hasta 19 TCH en la zona 1H5. En estas zonas agroecológicas es donde en la actualidad, conjuntamente con el Programa de Variedades de Cenicaña, se está haciendo el proceso de selección y desarrollo de las nuevas variedades para ambientes más humedos, con el fin de superar el umbral de las 100 TCH.



	1H5	6H5	9H4	3H4	4H3	8H5	1H4	5H4	9H3	Total
CC 85-92	69	79	63	80	78	65	91	89	80	79
CC 01-1940	88	97	78	94	87	74	93	91	81	87
Meta inferior	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Figura 45. Comportamiento del TCH por zona agroecológica entre CC 01-1940 y CC 85-92, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

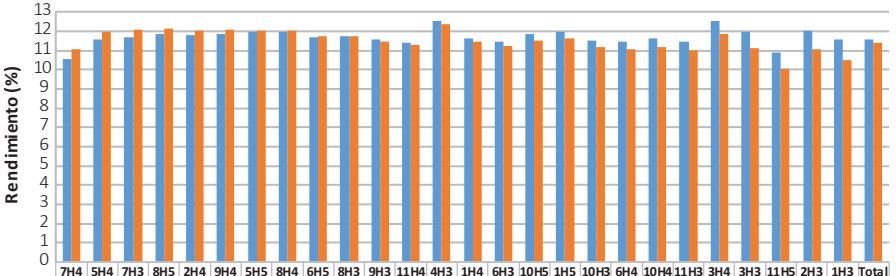
Los resultados de 20 zonas agroecológicas en los grupos de suelos 12 a 33 se presentan en la **Figura 46** donde se aprecia que la variedad CC 01-1940 presenta diferencias positivas con respecto a CC 85-92 en 24.9 TCH (26.1% de aumento) en 18 de estas zonas, siendo superada por CC 85-92 solamente en 14H3 y 18H4. Estos valores van desde 7 TCH en la zona 24H4, hasta 57 TCH en la zona 23H4.



	23H4	12H3	17H5	20H4	21H3	33H3	16H3	13H3	18H3	23H3	14H5	25H4	12H4	20H3	30H3	29H3	28H3	24H4	14H3	18H4	Total
CC 85-92	97	89	104	87	83	94	103	90	101	97	98	100	94	94	74	107	86	69	122	94	95
CC 01-1940	154	142	156	130	120	130	136	122	131	122	123	122	115	115	90	121	98	76	108	72	120

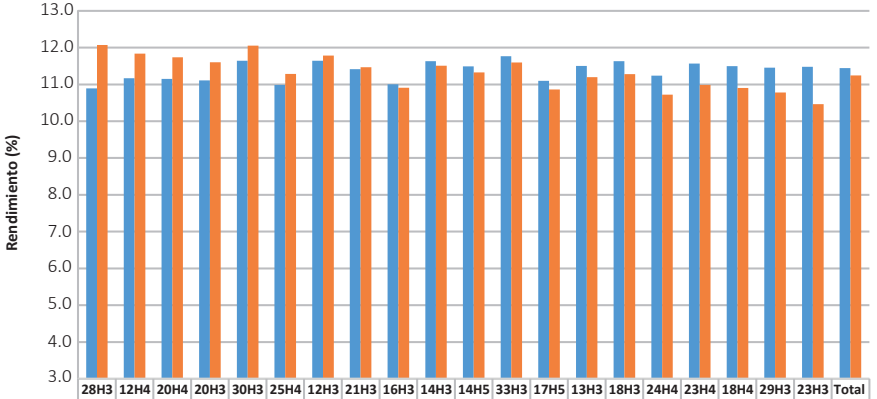
Figura 46. Comportamiento del TCH por zona agroecológica con grupos de suelos de 12 a 33, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

En cuanto al rendimiento (**Figura 47** y **Figura 48**) los resultados muestran que la variedad CC 01-1940 tiende a comportarse de manera similar a la CC 85-92 en unas zonas agroecológicas y en otras es inferior o superior a CC 85-92. El resultado total está influenciado más por el ponderado de las toneladas cosechadas de CC 85-92.



	7H4	5H4	7H3	8H5	2H4	9H4	5H5	8H4	6H5	8H3	9H3	11H4	4H3	1H4	6H3	10H5	1H5	10H3	6H4	10H4	11H3	3H4	3H3	11H5	2H3	1H3	Total
CC 85-92	10.56	11.56	11.7	11.87	11.82	11.87	11.96	11.94	11.71	11.76	11.57	11.42	12.52	11.62	11.45	11.83	11.95	11.52	11.45	11.64	11.48	12.55	11.96	10.9	12	11.55	11.59
CC 01-1940	11.06	11.97	12.06	12.11	12.04	12.05	12.02	11.99	11.72	11.72	11.48	11.28	12.38	11.44	11.25	11.51	11.63	11.19	11.06	11.17	11	11.83	11.11	10.01	11.05	10.52	11.38

Figura 47. Comportamiento del Rto. por zona agroecológica y grupos de suelos 1 a 11, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

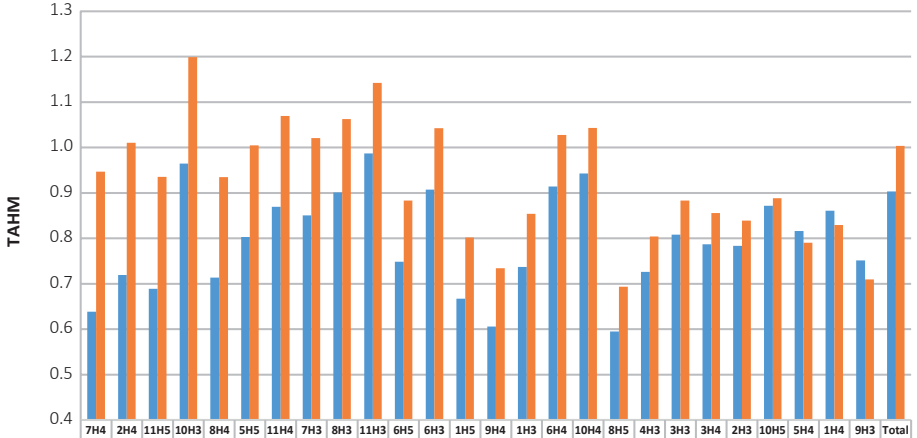


	28H3	12H4	20H4	20H3	30H3	25H4	12H3	21H3	16H3	14H3	14H5	33H3	17H5	13H3	18H3	24H4	23H4	18H4	29H3	23H3	Total
CC 85-92	10.9	11.2	11.1	11.1	11.6	11.0	11.6	11.4	11.0	11.6	11.5	11.8	11.1	11.5	11.6	11.2	11.6	11.5	11.5	11.5	11.4
CC 01-1940	12.1	11.8	11.7	11.6	12.1	11.3	11.8	11.5	10.9	11.5	11.3	11.6	10.9	11.2	11.3	10.7	11.0	10.9	10.8	10.5	11.2

Figura 48. Comportamiento del rendimiento (%) por zona agroecológica en los grupos de suelos 12 a 33, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010 a 2017. Ingenio La Cabaña.

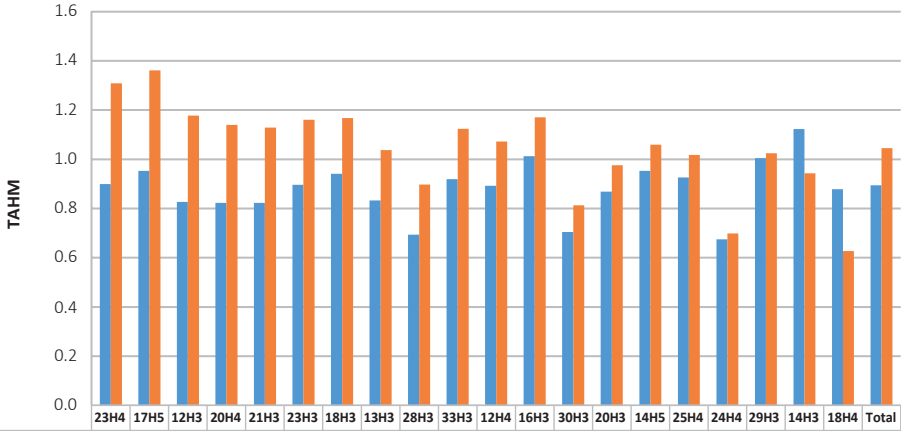
En cuanto a TAHM (**Figura 49** y **Figura 50**) se observa que la variedad CC 01-1940 superó a la CC 85-92 en 41 de las 46 zonas agroecológicas del ambiente húmedo analizadas, mostrando una amplia adaptabilidad para este ambiente. Esto corresponde a 10,342 hectáreas, que representan el 48.3% del área total del ingenio. En los grupos de suelos 1 a 11 se logró superar a la CC 85-92 en 0.10 toneladas de azúcar por hectárea mes y en los grupos de suelos 12 a 33 la diferencia fue de 0.15 toneladas de azúcar por hectárea mes a favor de la variedad CC 01-1940.

En las zonas agroecológicas 1H4, 5H4, 9H3, 14H3 y 18H4 la variedad CC 85-92 fue superior a CC 01-1940, aunque estas zonas solamente representan un 3.2% del área total del ingenio y existe la necesidad de buscar otras alternativas que puedan mejorar la productividad en estas zonas.



	7H4	2H4	11H5	10H3	8H4	5H5	11H4	7H3	8H3	11H3	6H5	6H3	1H5	9H4	1H3	6H4	10H4	8H5	4H3	3H3	3H4	2H3	10H5	5H4	1H4	9H3	Total
CC 85-92	0.64	0.72	0.69	0.96	0.71	0.80	0.87	0.85	0.90	0.99	0.75	0.91	0.67	0.61	0.74	0.91	0.94	0.59	0.73	0.81	0.79	0.78	0.87	0.82	0.86	0.75	0.90
CC 01-1940	0.95	1.01	0.94	1.20	0.94	1.00	1.07	1.02	1.06	1.14	0.88	1.04	0.80	0.73	0.85	1.03	1.04	0.69	0.80	0.88	0.86	0.84	0.89	0.79	0.83	0.71	1.00

Figura 49. Comportamiento de las TAHM por zona agroecológica en los grupos de suelos 1 a 11, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940 en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

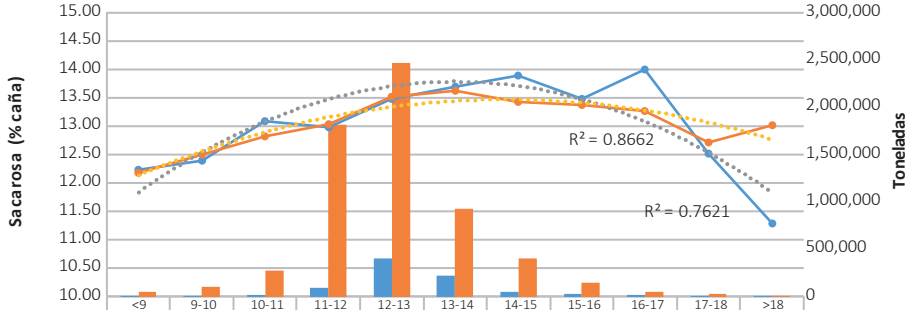


	23H4	17H5	12H3	20H4	21H3	23H3	18H3	13H3	28H3	33H3	12H4	16H3	30H3	20H3	14H5	25H4	24H4	29H3	14H3	18H4	Total
CC 85-92	0.90	0.95	0.83	0.82	0.82	0.90	0.94	0.83	0.69	0.92	0.89	1.01	0.70	0.87	0.95	0.93	0.67	1.00	1.12	0.88	0.89
CC 01-1940	1.31	1.36	1.18	1.14	1.13	1.16	1.17	1.04	0.90	1.12	1.07	1.17	0.81	0.98	1.06	1.02	0.70	1.02	0.94	0.63	1.05

Figura 50. Comportamiento de las TAHM por zona agroecológica y grupos de suelos 12 a 33, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940 en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

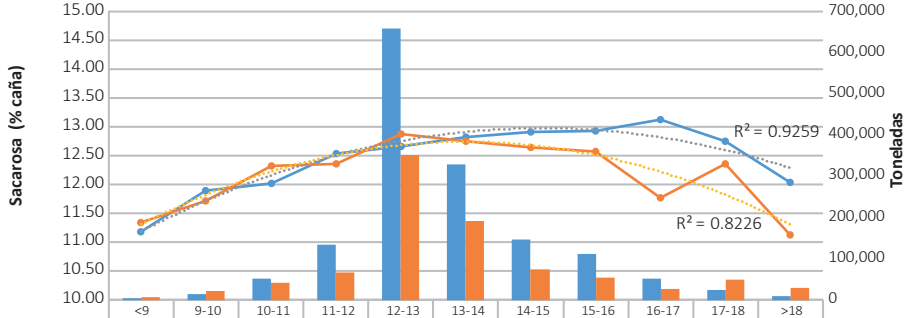
Con el fin de analizar el comportamiento de la sacarosa a diferentes edades, entre las dos variedades analizadas, se clasificó la información en 2 períodos; uno que va del 2010 al 2015 y el otro que corresponde a la caída de la sacarosa en toda la industria, que va desde el 2016 y 2017, para ver si había un efecto de la variedad en esta variable.

Para este análisis se tomaron rangos de edad por mes comenzando con cañas menores a 9 meses y terminando en cañas mayores a 18 meses. En la Figura 51 y **Figura 52** se observa que las dos variedades tienen un comportamiento muy similar en el contenido de sacarosa (% caña) a edades menores de 14 meses y en edades superiores. La variedad CC 01-1940 aumenta la sacarosa hasta los 17 meses, mientras que la CC 85-92 comienza a caer a partir de los 14 meses. Esto demuestra que la variedad CC 01-1940 tiene un mayor potencial de sacarosa a edades más altas (entre 14 y 17 meses) comparada con la CC 85-92.



	<9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	>18
CC 01-1940	3858	6728	20313	94737	404179	226608	55239	34345	23549	4369	4717
CC 8592	50611	109055	278531	1818195	2464959	927842	405167	142271	54631	28157	5386
CC 01-1940	12.23	12.39	13.08	12.99	13.49	13.70	13.90	13.48	14.00	12.52	11.30
CC 8592	12.18	12.51	12.83	13.04	13.52	13.63	13.43	13.38	13.28	12.72	13.03

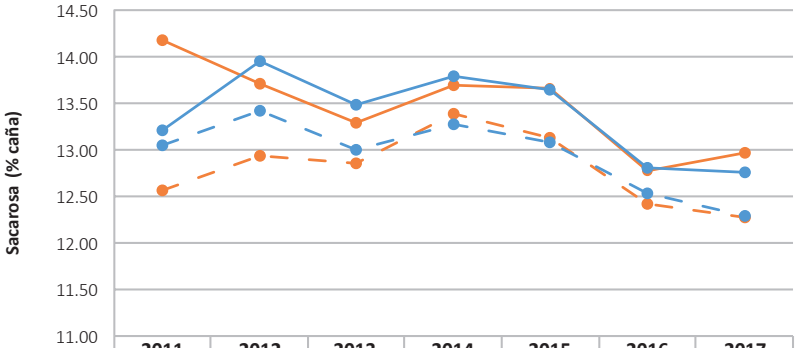
Figura 51. Sacarosa (% caña) y toneladas cosechadas de la CC 85-92 y la CC 01-1940 por rangos de edad, en el período 2010-2015. Ingenio La Cabaña.



	<9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	>18
CC 01-1940	5655	14341	52159	135481	658310	328006	145564	111165	52443	25317	9853
CC 8592	8213	21938	41185	67935	350365	192329	75188	54823	25889	48232	30438
CC 01-1940	11.18	11.90	12.02	12.54	12.66	12.82	12.91	12.93	13.13	12.76	12.03
CC 8592	11.35	11.72	12.32	12.35	12.88	12.74	12.64	12.57	11.78	12.36	11.12

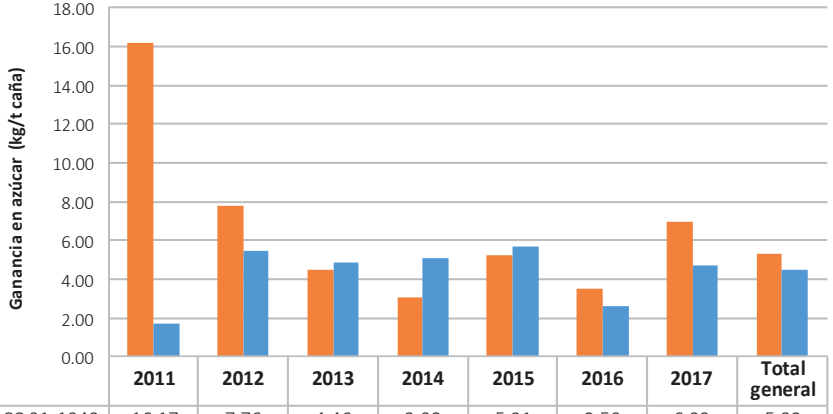
Figura 52. Sacarosa (% caña) y toneladas cosechadas de la CC 85-92 y la CC 01-1940 por rangos de edad, en el período 2016-2017. Ingenio La Cabaña.

El uso de maduradores permite una mayor recuperación de sacarosa al momento de la cosecha. En la **Figura 53** y **Figura 54** se muestran los resultados del seguimiento a la maduración y la respuesta de las dos variedades al madurador durante los años 2011 al 2017. Se observa que las dos variedades tienen una buena respuesta a la maduración; sin embargo, la CC 01-1940, durante todo este ciclo, superó al testigo CC 85-92 con una ganancia promedio de 5.32 kilogramos de azúcar por tonelada de caña, contra 4.53 kilogramos de azúcar por tonelada de la CC 85-92.



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CC 01-1940 - SM	12.56	12.93	12.85	13.39	13.13	12.43	12.27
CC 85-92 - SM	13.04	13.41	12.99	13.28	13.07	12.54	12.29
CC 01-1940 - CM	14.18	13.71	13.30	13.70	13.66	12.78	12.97
CC 8592 - CM	13.21	13.96	13.48	13.79	13.64	12.80	12.76

Figura 53. Comportamiento de la sacarosa con y sin madurante de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2011-2017. Ingenio La Cabaña.



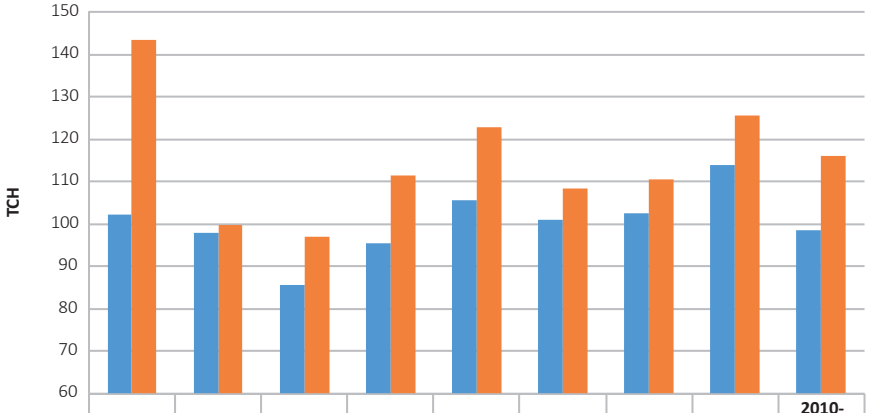
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total general
Delta CC 01-1940	16.17	7.76	4.46	3.08	5.21	3.50	6.99	5.32
Delta CC 85-92	1.71	5.45	4.84	5.09	5.68	2.63	4.72	4.53

Figura 54. Ganancia en kg de azúcar/tonelada de caña de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, período 2011-2017. Ingenio La Cabaña.

Se hizo un análisis comparativo de las diferentes variables de productividad entre las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 con la información comercial correspondiente al período enero del 2010 a diciembre de 2017 de los campos cosechados en el ingenio en el ambiente húmedo. Con esta información se

estimaron los promedios ponderados de los TCH, TCHM, RTO y TAHM para las dos variedades y se presentan gráficamente estos resultados.

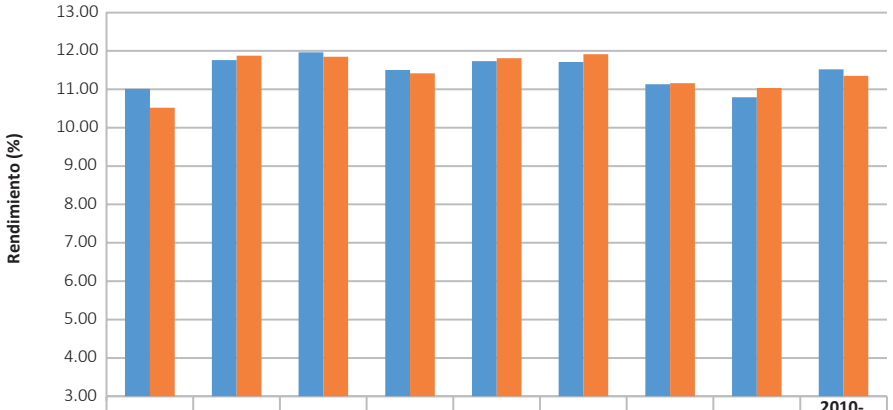
En la **Figura 55** se presentan los resultados de TCH para las dos variedades y se observa que en todos los años analizados la variedad CC 01-1940 supera a la variedad CC 85-92, con una diferencia en el total del período de 17.5 TCH a favor de la variedad CC 01-1940, representando esto un aumento del 18% en la producción.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2010-2017
CC 85-92	102	98	86	95	106	101	102	114	98
CC 01-1940	143	100	97	111	123	108	110	125	116

Figura 55. Comportamiento del TCH por año entre las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

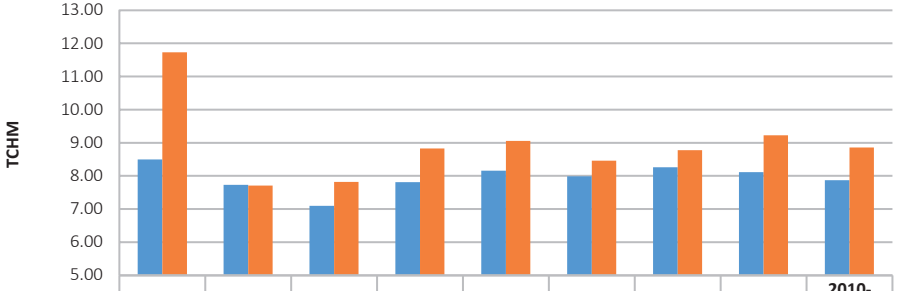
En cuanto al rendimiento (**Figura 56**) la variedad CC 01-1940 en sus comienzos (años 2010, 2012 y 2013) mostró unos resultados levemente inferiores a CC 85-92; sin embargo, aplicando el concepto de agricultura específica por sitio y el manejo agronómico, a partir del 2014 empezó a superarla levemente, concluyéndose que es una variedad que iguala o supera levemente el rendimiento de la variedad CC 85-92.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2010-2017
CC 85-92	11.01	11.76	11.96	11.51	11.73	11.71	11.14	10.79	11.52
CC 01-1940	10.52	11.88	11.85	11.42	11.81	11.91	11.16	11.03	11.35

Figura 56. Comportamiento del rendimiento (%) por año de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

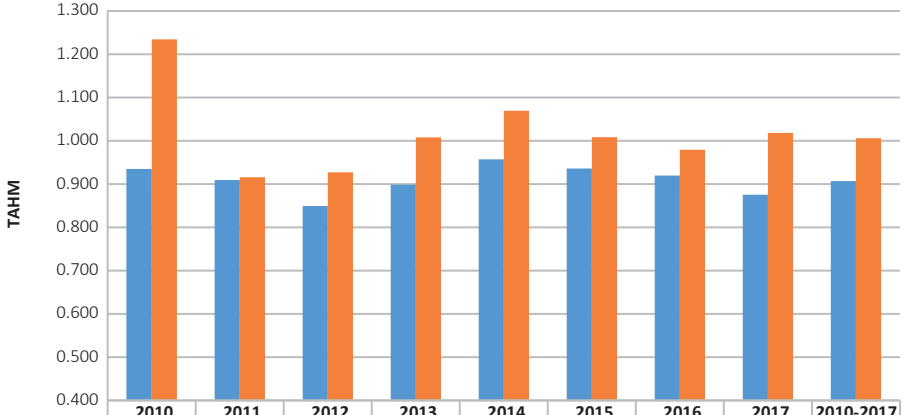
Con respecto a las TCHM la variedad CC 01-1940 supera en 0.99 toneladas adicionales de caña por hectárea y por mes durante el período 2010-2017 a la CC 85-92 (**Figura 57**), representando esto un incremento del 12.5% en la productividad.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2010-2017
CC 85-92	8.49	7.73	7.10	7.81	8.16	7.99	8.26	8.11	7.87
CC 01-1940	11.73	7.71	7.82	8.83	9.06	8.46	8.77	9.23	8.86

Figura 57. Comportamiento de las TCHM por año de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

En la **Figura 58** se presentan los resultados de TAHM que involucra las variables de TCH, rendimiento y edad de cosecha, y se concluye que durante todos los años analizados, la variedad CC 01-1940 superó a la CC 85-92 con un incremento durante todo este período de 0.10 toneladas adicionales de azúcar por hectárea mes que corresponden a un incremento del 10.9%.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2010-2017
CC 85-92	0.935	0.909	0.849	0.899	0.957	0.936	0.920	0.875	0.907
CC 01-1940	1.234	0.916	0.927	1.008	1.070	1.008	0.979	1.018	1.006

Figura 58. Comportamiento de las TAHM por año de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940.

Con el fin de hacer un análisis comparativo más justo se hizo un análisis por año igualando el número de cortes por variedad para las variables TCH, RTO y TAHM.

En la **Figura 59** se observan los resultados de TCH por año y por igualdad en el número de cortes siendo superior la variedad CC 01-1940.

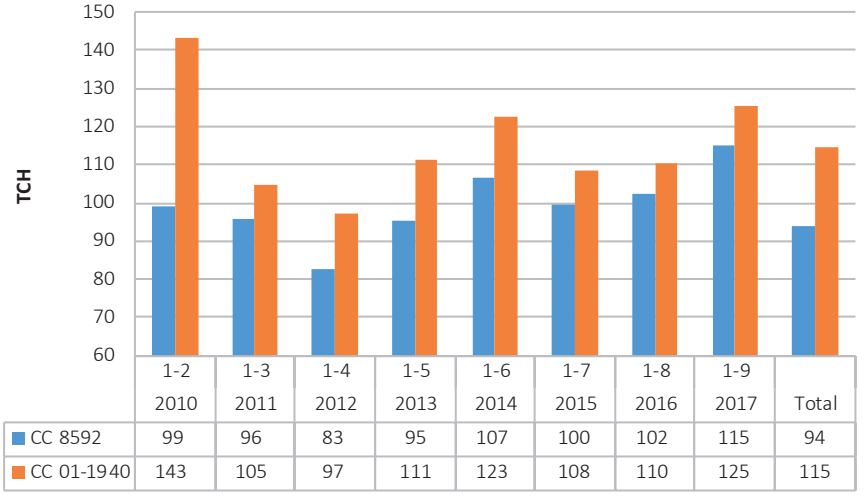
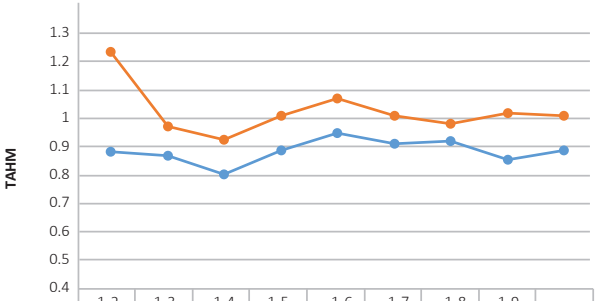


Figura 59. Comportamiento del TCH por año e igual número de cortes en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940.

En la **Figura 60** se observa el comportamiento del rendimiento donde se ve una tendencia muy parecida al análisis por año, sin discriminar número de cortes. Para las TAHM (**Figura 61**), también se observa la misma tendencia.

En términos generales estos indicadores de productividad demuestran que durante el período analizado para el ambiente húmedo la variedad CC 01-1940 tuvo un impacto favorable en los resultados de producción.

Figura 60. Comportamiento del rendimiento por año e igual número de cortes en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.



	1-2 2010	1-3 2011	1-4 2012	1-5 2013	1-6 2014	1-7 2015	1-8 2016	1-9 2017	Total
CC 8592	0.884	0.870	0.803	0.889	0.950	0.912	0.918	0.855	0.885
CC 01-1940	1.234	0.971	0.927	1.008	1.070	1.008	0.979	1.018	1.007

Figura 61. Comportamiento de las TAHM por año en igual número de cortes en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña.

Impacto de la adopción de la variedad CC 01-1940 en la productividad de la agroindustria en ambientes húmedos

Claudia Posada Contreras[1], Carlos Arturo Moreno Gil[2]

Dos de los factores que determinan el impacto en las variables de productividad de la agroindustria son la variedad ubicada en el ambiente para el cual fue desarrollada y la participación que esta variedad alcanza en el área cosechada. Una variedad puede estar presentando características de superioridad con respecto a la variedad testigo, pero su impacto a nivel de industria no puede verse reflejado hasta tanto no haya logrado un incremento considerable en el área sembrada.

Con el fin de medir el impacto en la productividad y utilidad de la variedad CC 01-1940 en ambientes húmedos de la agroindustria se utilizaron los datos de las suertes que han sido cosechadas durante el período 2011-2017 y se estimaron los promedios ponderados de los tres primeros cortes para la variedad CC 85-92 (variedad testigo), la CC 01-1940 y el promedio del ambiente húmedo en la industria (todas las variedades).

La **Figura 62** muestra el comportamiento de la productividad (TCH, RTO, TCHM y TAHM), la utilidad y la participación en el área cosechada para la CC 85-92, CC 01-1940 y el promedio del ambiente húmedo. La línea roja hace referencia a la curva de productividad y/o utilidad de la CC 01-1940, la línea azul es la de la variedad CC 85-92 (variedad testigo) y la línea negra es la curva del promedio de la industria en ambientes húmedos. Se puede observar en términos generales que, a través de este período, hay una constante de superioridad de la nueva variedad con respecto a la testigo (CC 85-92), para todos los indicadores mencionados. También se observa que, a partir del 2012, la diferencia entre el promedio de la agroindustria y la variedad testigo se hace cada vez mayor debido al efecto de la variedad CC 01-1940 que cada vez tiene un área mayor sembrada. Sin embargo, las diferencias durante el 2017 no fueron tan notorias entre CC 01-1940, CC 85-92 y el pro-

1. Economista, M. Sc., economista Cenicaña, cposada@cenicana.org
2. Estadístico, M. Sc., biometrista Cenicaña, camoreno@cenicana.org

medio de la agroindustria de la caña. La explicación a esta poca diferencia se pudo deber al aumento significativo y liderazgo del área cosechada de CC 01-1940 durante ese año, debido a la siembra de la variedad en algunas zonas húmedas que no son las ideales para ella, especialmente en suelos arcillos o de muy pobre drenaje, tales como 2H3, 8H4, 8H5, 9H4, 10H5, 11H5 y 24H5, donde la CC 01-1940 no se ha mostrado como la mejor opción de siembra. Esto a su vez puede ser acentuado por la disminución del área de siembra de CC 85-92 en el ambiente húmedo y el área que queda de ella. Es en aquellos sitios donde CC 85-92 tiene muy buena productividad.

Este comportamiento de superioridad de la CC 01-1940 en zonas húmedas ha hecho que estas zonas sembradas con esta variedad sean más eficientes en riesgo que las zonas semisecas sembradas con la CC 85-92, como lo podemos ver en el siguiente acápite.

Eficiencia en riesgo bajo dos ambientes con la variedad adecuada

Usualmente las productivades de las zonas semisecas han sido superiores a las productividades de las zonas húmedas y uno de los retos a los que el programa de variedades de Cenicaña se enfrenta es mejorar las productividades que se dan en condiciones húmedas. Cuando se compara las productividades entre estas zonas encontramos que la probabilidad de obtener valores de TAHM, superiores a un valor determinado, es menor en zonas húmedas que en las semisecas. Sin embargo, hoy en día y debido al proceso de mejoramiento varietal en zonas húmedas podemos decir que esa probabilidad con las variedades nuevas, en particular la CC 01-1940, ha venido aumentándose.

Con el fin de evidenciar la situación planteada se muestra el efecto de una nueva variedad sembraba en el ambiente correcto, es decir, en el ambiente para el cual fue desarrollada. Se caracterizó la distribución de las TAHM en las condiciones húmedas y semisecas considerando la variedad CC 85-92 para los cinco primeros cortes de cosecha en el período 2006-2010, por ser un período donde esta variedad había alcanzado su mayor área cosechada para ambos ambientes. Posteriormente, se caracterizó para el período 2011-2017 en donde la nueva variedad empezó a ser adoptada, la distribución de las TAHM en el ambiente húmedo sembrada con CC 01-1940 y en ambiente semiseco sembrada con la CC 85-92.

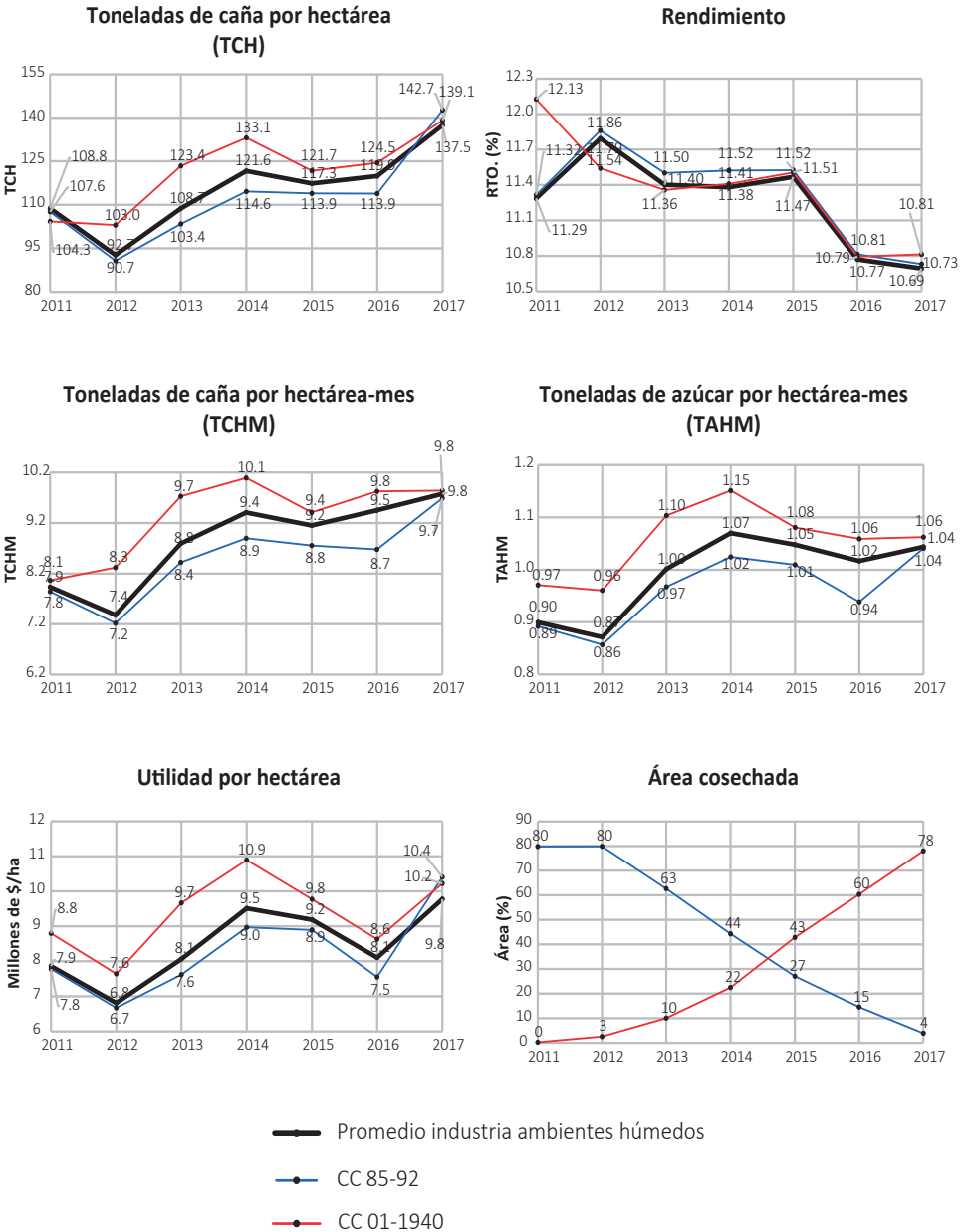


Figura 62. TCH, TCHM, TAHM, Utilidad por hectárea. Área cosechada promedio de la industria en ambientes húmedos para los cortes 1, 2 y 3 de la CC 85-92 y de la CC 01-1940 con su respectiva participación en el área cosechada. 2011-2017.

La **Figura 63A** muestra que la probabilidad de obtener TAHM mayores a cualquier valor es siempre mayor o igual en el ambiente semiseco que en el húmedo. En particular para TAHM mayores a 1 esta probabilidad en ambiente semiseco es de 0.71, mientras que en ambiente húmedo es de 0.47. La figura 2B muestra que en el ambiente húmedo sembrado con la CC01-1940 la probabilidad es siempre mayor o igual que en el ambiente semiseco sembrado con la CC 85-92. En particular para TAHM mayores a 1 esta probabilidad es de 0.61 en el ambiente húmedo y 0.53 en ambiente semiseco, lo que evidencia que la nueva variedad ha logrado que las zonas húmedas, con una variedad para esa condición, sean más eficientes en riesgo que la semiseca con una variedad tradicional.

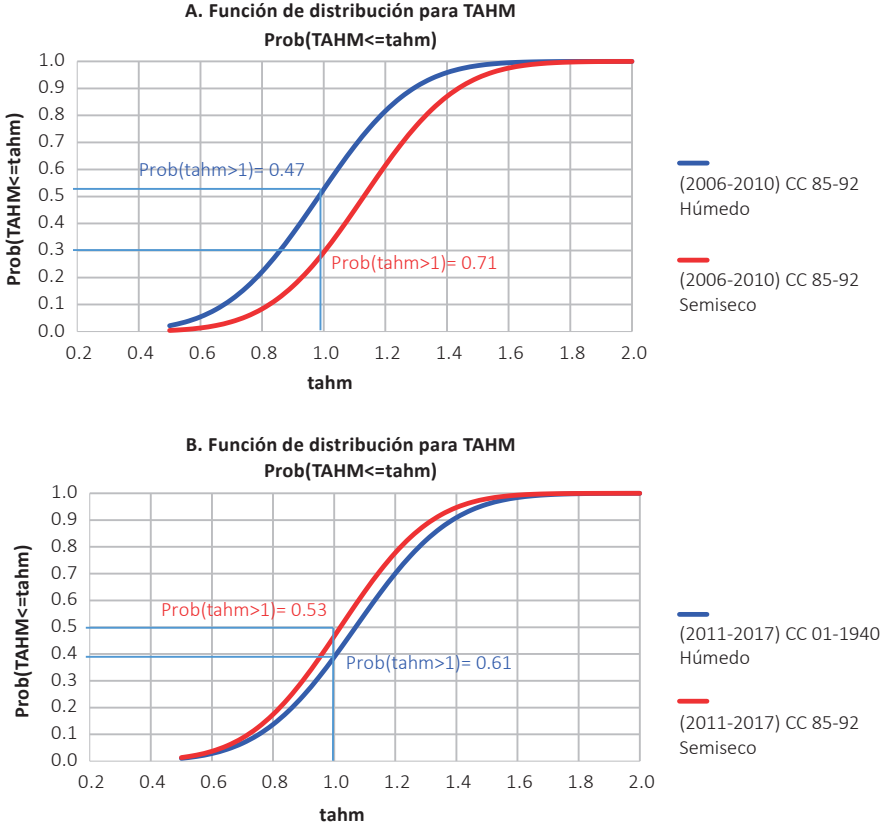


Figura 63. Función de distribución acumulada para TAHM en ambientes húmedo y semiseco en dos períodos distintos y dos variedades.

Diferencia adicional en productividad y utilidad por zona agroecológica

Si bien es cierto que en los temas anteriores hemos visto de manera comparativa la variedad CC 01-1940 con la CC 85-92 y hemos encontrado su superioridad, también es necesario conocer estas diferencias para el ambiente húmedo en zonas agroecológicas porque una de las preguntas que se hace el agricultor al adoptar una variedad es si esta nueva variedad se comporta mejor que la testigo en una zona agroecológica particular. Con información comercial de las suertes cosechadas por la industria en el ambiente húmedo, con estas dos variedades, en el período 2011-2017 se cuantificó para los cinco primeros cortes la interacción entre variedades y zona agroecológica.

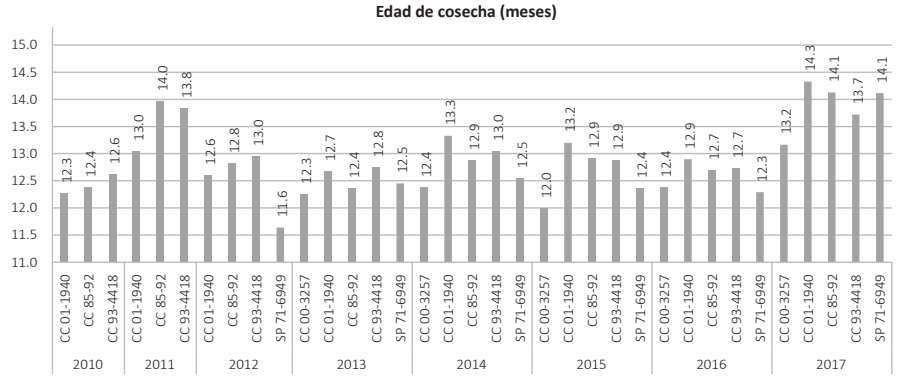
Se utilizó la metodología de los modelos lineales generales para expresar la variabilidad de TCH, TAH y utilidad para el ingenio como para el cultivador de caña como una función de los siguientes factores: variedades, zonas agroecológicas, interacción zona por variedad, año, edad de cosecha y número de corte (estas dos últimas como covariables). La inclusión de estas dos covariables permitió el ajuste de las variables de respuesta a una edad y número de corte promedio bajo el supuesto de no interacción entre las covariables y la interacción de variedad por zona agroecológica. Los resultados corresponden a las comparaciones planeadas entre variedades por zona agroecológica. Se utilizó un valor de significancia de $p <= 0.25$ para rechazar la hipótesis nula (los promedios de las variables de respuesta son iguales en las dos variedades). La **Figura 64** muestra las diferencias para cada una de las variables de respuesta entre la variedad CC 01-1940 y CC 85-92 para las zonas agroecológicas donde se detectó un efecto significativo superior o inferior.

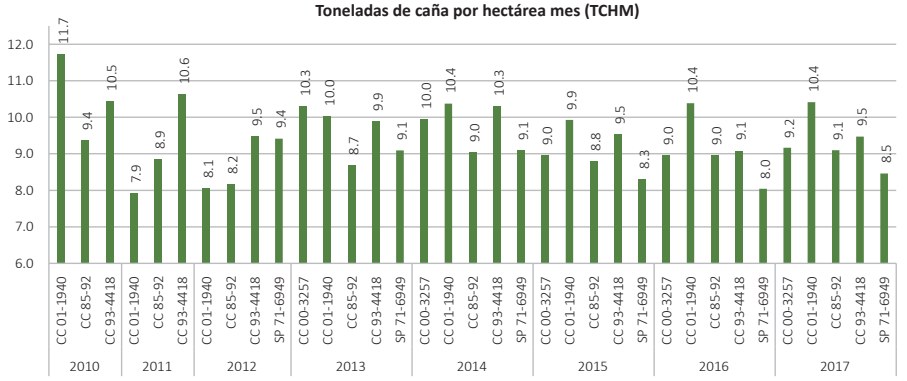
Figura 64. Productividades adicionales de la CC 01-1940 vs. CC 85-92 y utilidades adicionales expresadas en TAH y TCH por zonas agroecológicas.

Análisis descriptivo de la productividad de cinco variedades para la industria en el período 2010-2017

El comportamiento descriptivo de cinco variedades: CC 85-92, CC 93-4418, CC 01-1940, CC 00-3257 y SP 71-6949, en todos los ambientes con sus promedios anuales para TCH, TAH, TCHM y TAHM, se observa en la **Figura 65**. Para TCH, con excepción del 2011 y 2012, la variedad CC 01-1940 presentó los mayores tonelajes. Similar comportamiento ocurrió para el TAH, TCHM y TAHM; en términos generales, la CC 01-1940 y CC 93-4418 fueron las variedades que presentaron el mejor comportamiento de los indicadores durante este período.

Figura 65. Comportamiento del TCH, TAH, TCHM y TAHM de cinco variedades durante 2010-2017 en la industria.





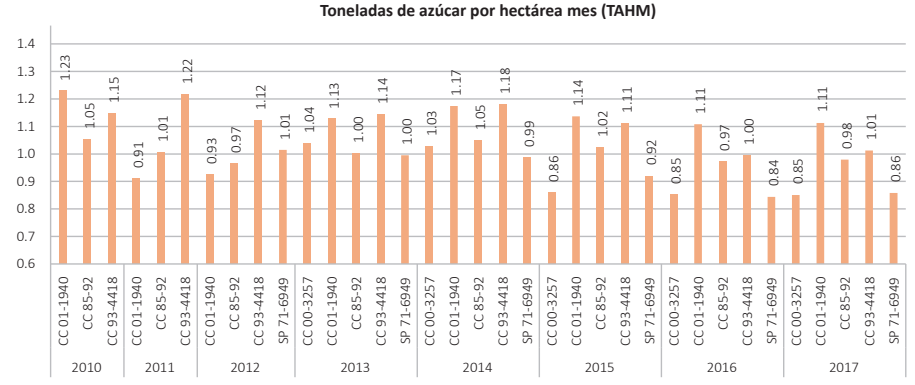


Figura 65. Continuación.

Resultados de productividad y utilidad para el ambiente húmedo 2015-2017

Se realizó un ejercicio económico para el ambiente húmedo a partir de los resultados de productividad de las variedades bajo la tenencia sobre la cual se encuentran sembradas. Se calculó la utilidad operacional expresada en pesos por hectárea que obtuvo la variedad en su respectiva tenencia y se presentan los resultados de la utilidad para el ingenio en sus tierras propias y para el proveedor bajo el supuesto de pago por tonelaje.

Desde el punto de vista del ingenio la variedad CC 01-1940 en tierras propias donde ha sido sembrada durante este período obtuvo los mayores resultados económicos, debido a que también presentó las mayores toneladas de caña y azúcar por hectárea (130.2 y 13.9, respectivamente) (**Figura 66** y **Cuadro 49**). Desde el punto de vista del proveedor se observa que esta variedad CC 01-1940 le está dejando las mayores utilidades, ya que la variedad presenta los mayores tonelajes de caña por hectárea (132.6 TCH).

Cuadro 49. Resultados de productividad y económicos de las variedades en ambiente húmedo según tipo de tenencia. 2015-2017.

		PRODUCTIVIDAD		
Variedad	**Tendencia**	**TCH**	**RDTO%**	**TAH**
CC 01-1940	propia	130.2	10.7	13.9
	arrendada	108.6	11.3	12.3
	participación	130.1	10.9	14.2
	proveeduría	132.6	11.1	14.7
CC 85-92	propia	112.6	11.0	12.3
	arrendada	97.5	11.4	11.1
	participación	113.3	11.0	12.5
	proveeduría	114.7	11.2	12.8

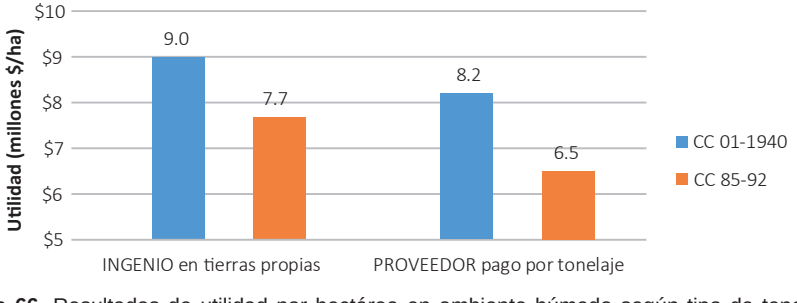


Figura 66. Resultados de utilidad por hectárea en ambiente húmedo según tipo de tenencia. 2015-2017.

Agradecimientos

Especiales reconocimientos merecen las personas e instituciones que contribuyeron con información y colaboración oportuna en los procesos de investigación, evaluación y validación de la variedad CC 01-1940 en el valle del río Cauca:

Jorge I. Victoria
Gustavo Medina
Carlos Nieto
Ricardo Palomino
Daniel Lenis
Jairo Nova
Carlos Soto
Alfonso Camargo
Gabriel Castaño
Alberto Roldán
Juan Pablo Rebolledo
Juan José Uribe
Pedro Bastidas
Javier Bohórquez
Daniel Galvis
Luis Napoleón Bernal
Jorge Herrada
Alexander Bohórquez
Óscar M. Delgado

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

Referencias bibliográficas

Aldana, R. C., Aldana, J. A. & Moya, O. M. (2011). *Biología, hábitos y manejo de Rhynchophorus palmarum L. (Coleoptera: Curculionidae).* Bogotá: CENIPALMA.

Annicchiarico, P. (2009). *Coping with and exploting genotipe-by-enviroment interactions. Chapter 20.* In: S. Ceccarelli, E. P. Guimaraes, & E. Weltizien, (Eds). *Plant breeding and farmer participation* (pp. 519-569). Rome: FAO

Castro, U., Cuarán, V.L.; Ramírez, G. D., Bustillo, A.E. & Gómez, L.A. (2011). *Resistencia varietal en el manejo del salivazo Aeneolamia viaria (F.) en caña de azúcar*. Cali. CENICAÑA.

Dunnett, C. W. (1964). New tables for multiple comparisons with control. *Biometrics, 20*(3), 482-491

Farshadfar, E., Rashidi, M., Jowkar, M. M. & Zali, H. (2013). GGE Biplot analysis of genotype x environment interaction inc chickpea genotypes. *European Journal of Experimental Biology, 3*(1), 417-423.

Fernández, M. E. & Gyenge, J.E. (2010). *Técnicas de medición en ecofisiología vegetal: conceptos y procedimientos*. Buenos Aires: Ediciones INTA.

Gardner, F.P., Brent Pearce, R. & Mitchel, R. L. (1985). *Carbon fixation by crop canopies.* In: F. P. Gardner, R. Brent Pearce & R. L. Mitchel (Eds). *Physiology of Crop Plants* (pp. 31-57) Iowa: Iowa State University Press.

Gauch, H. G. (1992). *Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs*. Amsterdam: Elsevier

Gauch, H. G. (2007). *MATMODEL Version 3.0: AMMI and Related Analyses for Two Way Data Matrices.* New York: Microcomputer Power

Gauch, H. G. & Zobel, R. W. (1996). *AMMI Analysis of Yield Trials*. In: M. S. Kang & H. G. Gauch Jr. (Eds.) *Genotype-by Environment Interaction*" (pp. 235-271) New York: CRC Press

Gauch H.G. & Zobel, R. W. (1997). Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science, 37*(2), 311-326.

Gómez, L. A. (2007). Manejo del salivazo *Aeneolamia varia* en cultivos de caña de azúcar en el valle del río Cauca. *Carta Trimestral, 29*(2-3), 10-17.

Gómez, L. A. & Vargas Orozco, G. A. (2014). *Los barrenadores de la caña de azúcar, Diatraea spp. en el Valle del Río Cauca: investigación participativa con énfasis en el control biológico. Documento de trabajo 734.* Cali: Cenicaña

Goudriaan, J. (1986). A simple and fast numerical method for the computation of daily totals of crop photosynthesis. Short communication. *Agricultural and Forest Meteorology, 38*(1-3), 180-182

Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar. GEPLACEA. (1984). *Manual de información sistematizada sobre variedades de caña de azúcar y especies afines. Versión preliminar*. México: Geplacea.

Hatch, M. D. (1999). *C4 photosynthesis: a historical overview*. In: R. F. Sage & R. K. Monson (Eds.). *C4 Plant Biology* (pp.17–46). San Diego: Academic Press.

Hay, R. K. M. & Porter, J. R. (2006). *The Physiology of Crop Yield*. (2nd ed.). Oxford: Blackwell Publishing Company.

Salazar, J. & Proaño, L. (1989). Pérdidas ocasionadas por la candelilla de la caña de azúcar (*Aeneolamia varia*) en el área de influencia del central río turbio: estudio comparativo de las zafras 84/85 y 85/86. *Caña de Azúcar, 7*(2), 49-54.

SAS Institute Inc., 2014. SAS/STAT 13.2 User's Guide. The Glimmix Procedure. Cary, NC: SAS Institute Inc. 365 p.

SAS Institute Inc., 2014b. SAS/STAT 13.2 User's Guide. The IML Procedure. Cary, NC: SAS Institute Inc. 365 p.

Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology.* Massachusetts: .Sinauer Associates Inc.

Vargas Orozco, G. A. (2015). *Retos y oportunidades en el manejo de los barrenadores del tallo, Diatraea spp*. Cali: CENICAÑA.

Villegas Trujillo, F. & 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: Tecnicaña (Eds). *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. 1* (pp. 520-533) Cali, Colombia

Victoria Kafure, J. I., Viveros Valens, C. A., Salazar Villareal, F. A… 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.). Cali: Cenicaña

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 p.

Williams, L. J. & Abdi, H. (2010). *Fisher´s least significant difference (LSD) test.* In: N. Slkind (Ed). *Encyclopedia of research design*. (pp. 6-12) Thousand Oaks: Sage

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. & Szlavnics, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science, 40*(3): 597-605.

Yan, W. & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal Plant of Science, 86*(3), 623–645.

Lista de figuras

Figura 1. Genealogía de la variedad CC 01-1940. 12

Figura 2. Planta y partes de la planta de CC 01-1940. A: planta completa; B, nudos y entrenudos; C, nudo mostrando la yema y D, parte del cogollo mostrando el cuello visible.....14

Figura 3. Huella genética de la variedad CC 01-1940 obtenida a partir de los tres marcadores microsatélites CV 29, CV 37 y CV 38. 16

Figura 4. Dinámica de la población de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en la Estación Experimental de Cenicaña, zona agroecológica 11H1. 18

Figura 5. Número de entrenudos (A), número de hojas verdes (B), Índice de Área Foliar - *IAF* (C) y altura a punto de quiebre (D) de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92. 19

Figura 6. Fracción de la luz interceptada (A), masa seca total (B), masa seca del tallo (C) y toneladas de caña por hectárea – TCH (D) de las variedades CC85-92 y CC 01-1940. 21

Figura 7. Respuesta de la fotosíntesis a la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en caña de azúcar para CC 01-1940 (a) y CC 85-92 (b). 24

Figura 8. Dinámica de la acumulación de sacarosa de CC 01-1940 y CC 85-92. Las figuras geométricas corresponden a los valores medidos, las líneas sólidas a los valores simulados a partir del modelo y las líneas punteadas son las tasas absolutas de acumulación. % de sacarosa respecto al peso fresco del tallo (A) y gramos de sacarosa por tallo (B).....26

Figura 9. Dinámica de la acumulación de sacarosa en función del tiempo y de la posición del entrenudo en el tallo, para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92.....27

Figura 10. Dinámica de acumulación de sacarosa en función del tiempo y de la posición del entrenudo en el tallo para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92. 30

Figura 11. Dinámica temporal de la acumulación del nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940.....34

Figura 12. Dinámica temporal de la acumulación del calcio (Ca), magnesio (Mg) y hierro (Fe) en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940.....36

Figura 13. Dinámica temporal de la acumulación del manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B) en CC 85-92 y CC 01-1940 38

Figura 14. Evapotranspiración (*ETc*) diaria de la caña de azúcar, variedad CC 01-1940, medida por el método del balance de agua en el suelo.....47

Figura 15. Curva de K ajustada al modelo log normal, para el cultivo de caña de azúcar variedad CC 01-1940. 49

Figura 16. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante cuatro cortes consecutivos, en el ambiente húmedo del norte del valle del río Cauca – Z.A. 5H5. 62

Figura 17. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante tres cortes consecutivos, en el ambiente húmedo del norte del valle del río Cauca – Z.A. 5H3. 63

Figura 18. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante tres cortes consecutivos, en el ambiente húmedo del centro del valle del río Cauca – Z.A. 5H3. 65

Figura 19. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante dos cortes consecutivos, en el ambiente húmedo del sur del valle del río Cauca – Z.A. 8H3. 66

Figura 20. Maduración de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo durante tres cortes consecutivos, en el ambiente semiseco del centro-sur del valle del río Cauca – Z.A. 23H1. 68

Figura 21. Maduración de las variedades CC 93-4418, CC 98-72 y CC 01-1940 en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo en el ambiente semiseco del centro del valle del río Cauca – Z.A. 11H0. 69

Figura 22. Respuesta de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 al madurador en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo en el ambiente húmedo del sur del valle del río Cauca – Z.A. 8H3. 71

Figura 23. Respuesta de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 al madurador en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo en el ambiente húmedo del norte del valle del río Cauca – Z.A. 5H3. 72

Figura 24. Respuesta de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 al madurador en términos de sacarosa (% caña) y sacarosa por tallo en el ambiente semiseco del centro-sur del valle del río Cauca – Z.A. 23H1. 73

Figura 25. Curvas de Isoproductividad de siete ingenios (zonas agroecológicas) a través de las variedades, evaluadas en ambientes de zonas húmedas en la prueba regional de la serie 2001. 80

Figura 26. Gráfica de Isoproductividad de cinco variedades de la serie 2001 y la variedad CC 85-92, evaluadas a través de 10 localidades (siete ingenios, plantilla y primera soca) representativos de las zonas humedad del valle del río Cauca. 84

Figura 27. Gráfica de isoproductividad de la variedad CC 01-1940 en cada uno de los siete ingenios (zonas agroecológicas) y las medias de CC 01-1940 y CC 85-92 a través de 10 localidades, evaluadas en la prueba regional con variedades de la serie 2001 en ambientes representativos de las zonas húmedas del valle del río Cauca. 84

Figura 28. Ganancia porcentual de la variedad CC 01-1940 relativa al testigo CC 85-92, evaluado en la prueba regional de la serie 2001 en siete ingenios (zonas agroecológicas) representativos de las zonas húmedas. 85

Figura 29. AMMI1 y AMMI2 para sacarosa (% caña), TCH y TSH, evaluado en la prueba regional con variedades de la serie 2001, a través de 10 localidades (7 ingenios y dos cortes) en zonas representativas de las zonas húmedas del valle del río Cauca.....87

Figura 30. TCHM de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2013-2017 por corte en el Ingenio 1.....98

Figura 31. Rendimiento de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2013-2017 por corte en el Ingenio 1.....100

Figura 32. TAHM de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2013-2017 por corte en el Ingenio 1.....101

Figura 33. Edad de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2013-2017 por corte en el Ingenio 1.....102

Figura 34. TCHM de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2010-2017 por corte en el Ingenio 2.....103

Figura 35. Rendimiento de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2010-2017 por corte en el Ingenio 2.....105

Figura 36. TAHM de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2010-2017 por corte en el Ingenio 2.....106

Figura 37. Edad de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 en el período 2010-2017 por corte en el Ingenio 2.....106

Figura 38. Precipitación y fibra industrial del sector entre diciembre de 2014 y noviembre de 2016 117

Figura 39. Composición de fibras en caña preparada, variedad CC 01-1940.....118

Figura 40. Resultados de la evaluación de la eficiencia térmica de la caldera con bagazo de CC 01-1940 frente a CC 85-92.....124

Figura 41. Comparativos de color en jugos diluido y clarificado en pruebas de molienda 126

Figura 42. Comparativo de purezas de jugos de primera extracción y diluido. 127

Figura 43. Evolución del área cosechada por año de CC 85-92 y CC 01-1940 entre enero 2010 y diciembre de 2017 en el ingenio La Cabaña. 129

Figura 44. Comportamiento del TCH por zona agroecológica de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010 - 2017. Ingenio La Cabaña. 130

Figura 45. Comportamiento del TCH por zona agroecológica entre CC 01-1940 y CC 85-92, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 131

Figura 46. Comportamiento del TCH por zona agroecológica con grupos de suelos de 12 a 33, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 131

Figura 47. Comportamiento del Rto. por zona agroecológica y grupos de suelos 1 a 11, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 132

Figura 48. Comportamiento del rendimiento (%) por zona agroecológica en los grupos de suelos 12 a 33, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010 a 2017. Ingenio La Cabaña. 132

Figura 49. Comportamiento de las TAHM por zona agroecológica en los grupos de suelos 1 a 11, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940 en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 133

Figura 50. Comportamiento de las TAHM por zona agroecológica y grupos de suelos 12 a 33, en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940 en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 134

Figura 51. Sacarosa (% caña) y toneladas cosechadas de la CC 85-92 y la CC 01-1940 por rangos de edad, en el período 2010-2015. Ingenio La Cabaña. 135

Figura 52. Sacarosa (% caña) y toneladas cosechadas de la CC 85-92 y la CC 01-1940 por rangos de edad, en el período 2016-2017. Ingenio La Cabaña. 135

Figura 53. Comportamiento de la sacarosa con y sin madurante de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2011-2017. Ingenio La Cabaña. 136

Figura 54. Ganancia en kg de azúcar/tonelada de caña de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, período 2011-2017. Ingenio La Cabaña. 136

Figura 55. Comportamiento del TCH por año entre las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 137

Figura 56. Comportamiento del rendimiento (%) por año de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 138

Figura 57. Comportamiento de las TCHM por año de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 138

Figura 58. Comportamiento de las TAHM por año de las variedades CC 85-92 y CC 01-1940. 139

Figura 59. Comportamiento del TCH por año e igual número de cortes en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940. 140

Figura 60. Comportamiento del rendimiento por año e igual número de cortes en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 140

Figura 61. Comportamiento de las TAHM por año en igual número de cortes en las variedades CC 85-92 y CC 01-1940, en el período 2010-2017. Ingenio La Cabaña. 141

Figura 62. TCH, TCHM, TAHM, Utilidad por hectárea. Área cosechada promedio de la industria en ambientes húmedos para los cortes 1, 2 y 3 de la CC 85-92 y de la CC 01-1940 con su respectiva participación en el área cosechada. 2011-2017. 144

Figura 63. Función de distribución acumulada para TAHM en ambientes húmedo y semiseco en dos períodos distintos y dos variedades.....145

Figura 64. Productividades adicionales de la CC 01-1940 vs. CC 85-92 y utilidades adicionales expresadas en TAH y TCH por zonas agroecológicas.....147

Figura 65. Comportamiento del TCH, TAH, TCHM y TAHM de cinco variedades durante 2010-2017 en la industria. 148

Figura 65. Continuación.....149

Figura 66. Resultados de utilidad por hectárea en ambiente húmedo según tipo de tenencia. 2015-2017. 150

Lista de cuadros

Cuadro 1. Valores estimados de fotosíntesis máxima (*Am), respiración oscura (Rd*) y rendimiento cuántico (*ε*) de las variedades comerciales de caña CC 01-1940 y CC-85-92 en condiciones semisecas del valle del río Cauca. LI-LS= límites inferior y superior del intervalo de confianza al 95%. Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas para un nivel de significancia P=0.05 (Tukey). 23

Cuadro 2. Puntos de compensación (*PCL*) y saturación de luz (*PSL*), fotosíntesis a 2300 $\mu moles_{(fotones)}\ m^{-2}\ s^{-1}$ (A_{2300}) y relación entre respiración y fotosíntesis a 2300 $\mu moles_{(fotones)}\ m^{-2}\ s^{-1}$ (Rd/A_{2300}) para las variedades de caña CC 01-1940 y CC 85-92. 23

Cuadro 3. Disminución potencial en la producción de sacarosa en función de la edad de corte para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92. 29

Cuadro 4. Requerimiento nutricional de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 para producir una tonelada de tallos molederos. 32

Cuadro 5. Contenido foliar óptimo de nutrimentos para las variedades CC 01-1940 y CC 85-92 a los 6 meses después de la siembra o corte.....40

Cuadro 6. Efecto del manejo de la semilla en la germinación de las variedades CC 85-92, CC 93-4418 y CC 01-1940.....42

Cuadro 7. Efecto de la siembra en lomo o en el surco en la germinación de la semilla en condiciones de exceso de humedad. 45

Cuadro 8. Análisis de varianza entre la variable K y la edad del cultivo (días después de la emergencia) de la caña de azúcar CC 01-1940. 48

Cuadro 9. Parámetros estimados del modelo para la estimación de K a partir de la edad del cultivo de caña de azúcar CC 01-1940. 48

Cuadro 10. Programa de control biológico de *Diatraea* spp., de acuerdo al daño en cosecha y con base en una programación de liberaciones al siguiente ciclo de cultivo (Vargas, 2015). 55

Cuadro 11. Criterios para definir las acciones a tomar con respecto al salivazo *Aeneolamia varia* combinando los niveles de población en trampa pegajosa amarilla y conteos de salivas/adultos por tallo, considerando que el control se ejecutaría en caso de que alguno de los dos escenarios se presente. 56

Cuadro 12. Recomendaciones para el manejo del pulgón amarillo en caña de azúcar de acuerdo con el porcentaje de hojas infestadas.....59

Cuadro 13. Dosis de madurador por cada 100 toneladas de caña para las principales variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca.....74

Cuadro 14. Variedades, pedigrí y origen del cruzamiento planeado, evaluadas en la prueba regional de la serie 2001. 77

Cuadro 15. Ingenios, hacienda, suerte, zona agroecológica e indicadores de productividad de 10 sitios (7 ingenios) en donde fue evaluada la prueba regional con variedades de la serie 2001 para ambientes húmedos. 78

Cuadro 16. Indicadores de productividad evaluado en cinco variedades promisorias de la serie 2001 para ambientes húmedos evaluada a través de siete ingenios (plantilla y primera soca) en zonas agroecológicas representativas de los ambientes húmedos 82

Cuadro 17. Descripción de las áreas de validación de tecnología en ambientes húmedos. 92

Cuadro 18. Descripción general de prácticas de manejo agronómico de AEPS y convencional en dos áreas de validación de tecnología en zonas agroecológicas de ambiente húmedo del valle del río Cauca. 93

Cuadro 19. Resultados del análisis de varianza (prueba F y niveles de significancia, p valor) para tres fuentes de variación y cuatro variables de respuesta. Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 10H4. 93

Cuadro 20. Comparación de los valores estimados de TCH por tratamiento y por corte (prueba T, nivel de significancia del 5%). Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 10H4. 93

Cuadro 21. Valores estimados de rendimiento e ingreso neto para ingenios y proveedores de caña de azúcar con referencia a los promedios de tres cortes para cada tratamiento. Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 10H4. 94

Cuadro 22. Resultados del análisis de varianza (prueba F y niveles de significancia, p valor) para tres fuentes de variación y cuatro variables de respuesta. Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 5H5. 95

Cuadro 23. Valores estimados de TCH, rendimiento e ingreso neto para ingenios y cultivadores de caña de azúcar con referencia a los promedios de tres cortes para cada tratamiento. Área de validación de prácticas de AEPS frente prácticas convencionales, zona agroecológica 5H5. 95

Cuadro 24. Comparación de medias para las variables TCHM, Rendimiento y TAHM por variedad y corte, en el Ingenio 1. 99

Cuadro 25. Comparación de medias para las variables TCHM y TAHM por variedad y corte, en el Ingenio 2. 104

Cuadro 26. Valores promedio de densidad de carga de la variedad CC 01-1940 obtenidos de datos registrados en el mes de agosto de 2016 107

Cuadro 27. Valores promedio de densidad de carga de la variedad CC 01-1940 obtenidos del seguimiento a vagones de transporte. 107

Cuadro 28. Valores promedio de densidad de carga de la variedad CC 85-92 obtenidos de datos registrados en los meses de mayo a junio de 2016. 108

Cuadro 29. Valores promedio de densidad de carga de la variedad CC 85-92 obtenidos de seguimiento a vagones de transporte obtenidos del registro histórico. 108

Cuadro 30. Análisis de comparación de medias para la variable densidad de carga por tipo de corte y variedad. 109

Cuadro 31. Pérdida de sacarosa asociada a la quema en la variedad CC 01-1940. 111

Cuadro 32. Pérdida de sacarosa asociada a tiempos de permanencia en vagones en la variedad CC 01-1940 para el corte manual quemado. 111

Cuadro 33. Pérdida de sacarosa asociada a tiempos de permanencia en vagones en la variedad CC 01-1940 para el corte mecánico quemado. 112

Cuadro 34. Pérdida de sacarosa asociada a tiempos de permanencia en vagones en la variedad CC 01-1940 para el corte manual en verde. 113

Cuadro 35. Pérdida de sacarosa asociada a tiempos de permanencia en vagones en la variedad CC 01-1940 para el corte mecánico en verde. 114

Cuadro 36. Ubicación de las pruebas regionales evaluadas. 115

Cuadro 37. Resultados de componentes de fibra promedio en las cinco pruebas regionales. 116

Cuadro 38. Resultados de componentes de fibra promedio en la zona semiseca. 116

Cuadro 39. Poder calorífico en unidades de BTU/lb (base seca). 118

Cuadro 40. Composición porcentual de caña preparada. 118

Cuadro 41. Indicadores de molienda. 119

Cuadro 42. Indicadores de desempeño 119

Cuadro 43. Superficie específica de caña y bagazo de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92. 120

Cuadro 44. Composición de fibras en los materiales de molinos de las variedades CC 01-1940 y CC 85-92. 120

Cuadro 45. Propiedades físico-químicas de las muestras de bagazo de la variedad CC 01-1940. 122

Cuadro 46. Características del bagazo variedad CC 01-1940 *vs.* CC 85-92. 123

Cuadro 47. Comportamiento de la productividad de las variedades CC 85-92, CC 84-75 y MZC 74-275 en el período 1995 - 2009 en ingenio La Cabaña. 128

Cuadro 48. Toneladas y área cosechada por variedad en ingenio La Cabaña en el año 2009. 129

Cuadro 49. Resultados de productividad y económicos de las variedades en ambiente húmedo según tipo de tenencia. 2015-2017. 150

www.cenicana.org

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

ISBN: 978-958-8449-22-7

9 789588 449227

Tarifa Postal Reducida Servicios Postales Nacional S.A. No. 2018-133 4-72, vence 31 de dic. 2018.