

Carta

Trimestral

AÑO 31 Nos. 1 y 2 CALI, COLOMBIA 2009

enero - junio

www.cenicana.org

TEMAS

Notas técnicas e informativas

Cenicaña: Una institución estratégica para la industria azucarera colombiana	2
Sistema Experto de Fertilización	3
Servicio de análisis de suelo	4
Actividades 2009: GTT	5
Servicio de Información y Documentación	6
Quince años de la RMA	7

Avances de investigación

Prueba regional de variedades, zonas semisecas: Resultados de series 97 a 01 en plantilla	8
---	---

Notas de investigación

Correspondencia entre el tonelaje en pruebas regionales y suertes comerciales	20
Importancia de la fuente de nitrógeno sobre la producción y nutrición de caña en suelos con excesos de humedad	23
Evaluación preliminar de los esfuerzos inducidos en el suelo por los equipos de cosecha y transporte de caña de azúcar	28
Evaluación comportamiento estructural de conexiones soldadas en vagones para el transporte de caña	34
Características del clima en el valle del río Cauca, 2008	38



cenicaña
Centro de Investigación
de la Caña de Azúcar de
Colombia

Agua para la vida

Un compromiso de todos

Con la convicción de que el camino para mejorar la calidad de vida en las regiones se construye con la gestión mancomunada de todos los interesados, el 9 de junio de 2009 se llevó a cabo en la ciudad de Cali la presentación pública del proyecto "Agua para la vida", un compromiso de acciones concertadas para preservar las fuentes de agua y mantener los caudales de los ríos con el propósito de asegurar el abastecimiento de agua potable, la conservación de la biodiversidad y el mejoramiento de la calidad de vida en nueve cuencas hidrográficas de los departamentos del Cauca y Valle del Cauca.

Participan en el proyecto las asociaciones y fundaciones de usuarios de los ríos Tuluá-Morales, Nima, Amaime, Bolo, Frayle, Desbaratado, Zabaletas y Guabas en el Valle del Cauca, y del río Palo en el Cauca, con la cooperación técnica y económica de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña), la organización mundial no gubernamental *The Nature Conservancy* (TNC), la Corporación para el Desarrollo y la Paz del Valle del Cauca y el norte del Cauca (Vallenpaz) y Cenicaña.



Las metas del grupo en el próximo quinquenio son, entre otras, apoyar los planes de conservación en 14 mil hectáreas, reforestar más de 13 mil hectáreas y establecer franjas protectoras en otras 28 mil hectáreas. Se destinarán para ello cerca de 31 mil millones de pesos.

Para conocer más acerca de los planes y el futuro de **Agua para la Vida**, contacte en **Asocaña** a Claudia Calero <ccalero@asocana.org>



Selección de variedades para zonas semisecas

Primer corte de la prueba regional de las series 97-01 en seis ingenios

Diecisiete variedades de las series 97 a 01 se encuentran en evaluación durante tres cortes en cuatro zonas agroecológicas donde se utilizan como referencias comerciales los testigos CC 85-92 y MZC 74-275. El informe de avance sobre la cosecha de la plantilla incluye el análisis por ingenio y combinado a través de los sitios, y el análisis de estabilidad de las variedades en la prueba regional.

pág. 8

Información complementaria en
<www.cenicana.org/publicaciones/carta_trimestral/carta_trimestral.php>

Fuentes de N en suelos con excesos de humedad

Importancia en la nutrición y la producción del cultivo

pág. 23

Evaluación preliminar



Esfuerzos inducidos en el suelo por los equipos de cosecha y transporte de caña

pág. 28

Cenicaña: Una institución estratégica para la industria azucarera colombiana

Por César Augusto Arango Isaza. Gerente General del Ingenio Risaralda S.A.

La investigación y los nuevos desarrollos, junto con una estrategia comercial efectiva, son los dos vectores más importantes cuando se trata de actuar en mercados de *commodities*, donde la competitividad es fundamental para permanecer en el negocio.

En treinta y un años de existencia, Cenicaña ha demostrado con creces que utilizando eficientemente las fortalezas edafoclimáticas de las tierras enmarcadas en el entorno de los ríos Cauca y Risaralda es posible administrar las debilidades, aprovechar las oportunidades y atenuar con éxito las amenazas, y bien valdría la pena evaluar objetivamente el valor estratégico del centro de investigación para la industria azucarera colombiana.

Cenicaña es, a mi juicio, una gran oportunidad para alinear en los temas de la productividad y la competitividad los intereses de todos los actores, ingenios y cultivadores de caña, de tal manera que se pueda garantizar la productividad del negocio, habida cuenta de que los resultados del campo son definitivos para poder competir en un mercado globalizado.

Un ejemplo es el éxito que se ha obtenido en los Grupos de Transferencia de Tecnología asimilando el concepto de la agricultura específica por sitio en los delineamientos del desarrollo sostenible. Esto es un logro extraordinario y vemos con optimismo que la productividad en el campo viene en ascenso.

La participación directa de los agricultores en la ejecución de los programas que estructuran la agricultura específica por sitio, incluyendo la selección de variedades promisorias, será definitiva para el éxito del proceso. Como un ejemplo podríamos citar la propuesta que tenemos en el Ingenio Risaralda para motivar a los agricultores a coadyuvar en la selección de variedades, de crear un fondo de compensación que equilibre el ingreso económico para el agricultor cuando la productividad de las parcelas en ensayo sea menor a la productividad de su predio en el mismo corte, sin riesgo económico para él. Iniciativas como ésta en otros procesos permitirían ejecutar una estrategia de equipo y alinear los intereses comunes.



El reto es grande hacia el futuro para garantizar ya no la supervivencia, sino para perdurar en el tiempo con la rentabilidad adecuada.

Novedades editoriales



Informe Anual 2008

Ediciones electrónicas desde 1999

www.cenicana.org/publicaciones/index.php

Durante el primer trimestre de 2009 Cenicaña editó su informe anual número 30, un documento completo y preciso acerca del quehacer de la agroindustria azucarera nacional en relación con el desarrollo de la ciencia y la tecnología: un ejemplo de lo que podemos lograr mediante la gestión social del conocimiento y la innovación productiva en Colombia.

El informe comienza con el mensaje del doctor César Augusto Arango Isaza, Gerente General del Ingenio Risaralda S.A. y miembro de la Junta Directiva de Cenicaña. En esta edición de la Carta Trimestral compartimos con nuestros lectores dicho mensaje.

***Integración de los productores
y los procesadores de la caña
de azúcar en torno de una planta
maravillosa, amigable
con el planeta Tierra: Una
fuente de energía renovable.***

Carta Trimestral

ISSN 0121-0327

Año 31, Nos. 1 y 2 de 2009

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Dirección postal: Calle 58 Nte. No. 3BN- 110 Cali, Colombia
Estación Experimental, vía Cali-Florida km 26
Tel: (57-2) 687 6611 • Fax: 260 7853 • buzon@cenicana.org

Comité Editorial

Adriana Arenas Calderón • Álvaro Amaya Estévez
Camilo Isaacs Echeverri • Edgar Fernando Castillo Monroy
Jorge Stember Torres Aguas • Jorge Ignacio Victoria Kafure
Nohra Pérez Castillo • Victoria Carrillo Camacho

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial y edición de textos: Victoria Carrillo C.
Diagramación: Alcira Arias Villegas
Preprensa e impresión: Feriva S.A., Cali-Colombia

Catálogo en línea de la base datos bibliográfica

Consulte las referencias disponibles en
www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_online.php

Solicite los documentos de interés a Adriana Arenas <biblioteca@cenicana.org> o visite la biblioteca en la Estación Experimental

Sistema Experto de Fertilización: SEF, versión 2009*

El nuevo SEF v.2009 ofrece recomendaciones de fertilización y enmiendas para el cultivo de la caña de azúcar en los suelos del valle del río Cauca, con especificaciones sobre épocas, fuentes, dosis y métodos de aplicación en plantilla y soca.

Las recomendaciones se basan en los resultados del análisis químico del suelo (muestras por consociación), algunas características físicas del suelo y otras del cultivo.

Para la fertilización con nitrógeno se tienen en cuenta el contenido de materia orgánica del suelo, el drenaje y la presencia o ausencia de nivel freático superficial. Para definir las aplicaciones de fósforo y potasio se determinan los contenidos de fósforo disponible y potasio intercambiable en el suelo.

Las recomendaciones del SEF están basadas en las investigaciones de Cenicaña acerca de la nutrición y la fertilización de la caña de azúcar en los suelos de la parte plana del valle del río Cauca. Se fundamentan en experimentos de campo donde se utilizaron los resultados de los análisis de suelo realizados con los métodos de extracción y determinación empleados en el Laboratorio de Química de Cenicaña.

www.cenicana.org/aeps/sef.php

Lo nuevo del SEF

La base de datos del SEF v.2009 está diseñada con técnicas avanzadas de modelación, lo que permite contar con un aplicativo parametrizable que puede ser programado fácilmente para interactuar con las bases de datos geográficos, de clima y producción comercial. Ofrece la posibilidad de configurar diferentes tipos de análisis sin necesidad de modificar el código del sistema.

Para el registro de los datos del análisis de suelo se configuraron tablas en hojas electrónicas de Excel (Microsoft Office®), a fin de estandarizar los datos que se ingresan al sistema.

Como un servicio agregado del análisis de suelo en el Laboratorio de Química de Cenicaña, los usuarios reciben los resultados a través del correo electrónico y pueden consultarlos también en el SEF, junto con las recomendaciones de fertilización y enmiendas para las suertes de interés, con la ventaja de conservar los archivos históricos.

El SEF ofrece facilidades para el ingreso de grandes volúmenes de datos y es rápido en el procesamiento y la entrega de recomendaciones. Es útil para definir los planes de fertilización en áreas de cultivo extensas.

* SEF v.2009 © Cenicaña. Desarrollo de software: Jaime Hernán Caicedo Ángel, Ingeniero de Sistemas; Einar Anderson Acuña, Jefe del Servicio de Tecnología Informática. Investigación en nutrición y fertilización: Rafael Quintero Durán, Edafólogo, M.Sc.; Fernando Muñoz Arboleda, Edafólogo, Ph.D., Programa de Agronomía. Atención de usuarios: Oscar García Esparza, Tecnólogo Químico, Laboratorio de Química; Hernán Felipe Silva Cerón, Administrador Web, Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología.



Guía práctica para evaluar el desempeño de los sistemas de cosecha de caña de azúcar en el valle del río Cauca

Torres A., J.S.; Villegas T., F.; Durán S., A.; Cruz V., R.

www.cenicana.org/publicaciones/index.php

Esta Guía ha sido elaborada con el propósito de ofrecer herramientas metodológicas de uso práctico para la evaluación de los sistemas de cosecha en la industria azucarera colombiana. Con ella se busca establecer un marco de referencia que sirva de base para documentar de manera científica la evaluación de las operaciones de cosecha de acuerdo con los requerimientos de ingeniería agronómica de la caña de azúcar en las condiciones de suelo y clima del valle del río Cauca.

Servicio de análisis de suelo en el Laboratorio de Química de Cenicaña

Los resultados del análisis de suelo pueden ser utilizados para definir los planes de fertilización de tres cortes consecutivos como máximo, siempre y cuando se mantengan las condiciones iniciales del lote.

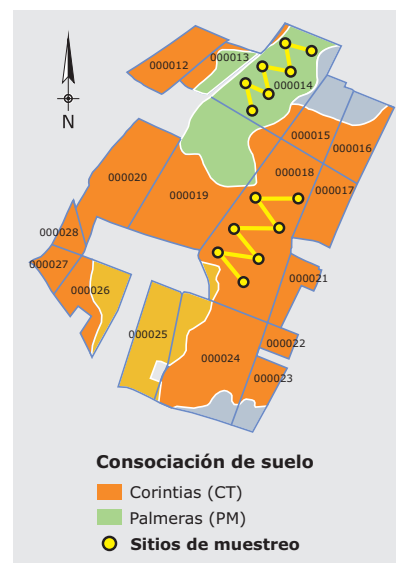


¿Cómo se toman las muestras de suelo?

Todos los lotes que van a ser renovados deben tener actualizado el análisis de suelo. Para el efecto, las muestras se deben tomar con 20-30 días de anticipación a la fecha programada para la siembra. En cultivos de caña soca, por su parte, las muestras se pueden tomar inmediatamente después de la cosecha.

Aspectos generales

- Una muestra de suelo se compone de 15-20 submuestras que se toman en un área no mayor de 10 hectáreas.
- Cada muestra debe ser representativa de una consociación de suelo.
- Se recomienda utilizar el mapa detallado de suelos de la finca para ubicar los sitios donde se tomarán las submuestras, según las suertes de interés (ver figura).
- Los sitios con parches arenosos, inundados o con escombros, los sitios cercanos a canales de riego o drenaje, o aquellos donde han permanecido pilas de cachaza o cenichaza, no son adecuados para la toma de muestras.



Recolección de las muestras

1. Se requieren las herramientas y materiales siguientes: Un barreno o un palín, un balde, bolsas plásticas, un lapicero y papel para marcar las muestras.
2. En cada sitio de muestreo se toman dos submuestras de suelo que se depositan en el balde: una submuestra se toma en el centro del entresurco y la otra, a un lado del surco.
 - **Para tomar la muestra con un barreno** (ver secuencia fotográfica): Introduzca el barreno hasta 20 cm de profundidad, sáquelo y elimine el suelo de las secciones superior e inferior. Deposite en el balde sólo la parte central de la porción de suelo.
 - En el caso de usar un palín: Limpie la superficie del suelo e introduzca el palín hasta hacer un hoyo en forma de "V" de 20 cm de profundidad. Tome una tajada de suelo de 2-3 cm de espesor en uno de los lados oblicuos del hoyo. Deseche el suelo que se encuentra en los bordes del palín y deposite en el balde sólo la parte central de la tajada.
3. Una vez concluya el recorrido de muestreo mezcle todo el suelo que se encuentra en el balde. Saque aproximadamente un kilogramo (1 kg) de suelo y colóquelo en una bolsa plástica. Cierre la bolsa y márkela con los datos siguientes: Fecha de muestreo, nombre de la consociación de suelo, la(s) suerte(s), la hacienda y el ingenio relacionado.



¿Cómo se reciben las muestras en el laboratorio?

Para utilizar el servicio de análisis de suelo en el Laboratorio de Química de Cenicaña, el usuario debe solicitar una cita en la cual entregará:

- Las muestras de suelo.
- El Formulario de Solicitud de Análisis de Suelo diligenciado.
- Copia de la consignación o el recibo de pago y una copia del certificado de registro único tributario (RUT).

Las muestras de suelo se reciben en el Laboratorio de Química ubicado en la Estación Experimental de Cenicaña, de lunes a viernes, en horario de 7.30 am a 12 m y de 1.00 pm a 4.00 pm.

El Formulario de Solicitud de Análisis de Suelo está disponible en el sitio web de Cenicaña, así como la información de precios y formas de pago. También se puede recurrir en cualquier momento a las personas de contacto en el laboratorio.

Los resultados se pueden demorar hasta 15 días hábiles según el tipo de análisis solicitado (completo o de caracterización).

Laboratorio de Química

Estación Experimental,
vía Cali-Florida km 26
<www.cenicana.org/rutas.php>
Teléfono: (2) 687 66 11, ext. 5149

Personas de contacto

Oscar García Esparza
<ogarcia@cenicana.org>

Carlos J. Ramírez
<cjramirez@cenicana.org>

Jesús E. Larrahondo
<jelarraondo@cenicana.org>

Más información

<www.cenicana.org/servicios/analisis_suelo.php>

SEF v.2009

<www.cenicana.org/aeps/sef.php>

Actividades durante 2009

Grupos de Transferencia de Tecnología

Por: Sandra Viviana Castillo B., Ingeniera Agrónoma de Transferencia, Cenicaña.

De acuerdo con el programa de actividades de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT), durante el primer semestre de 2009 se llevaron a cabo 17 eventos: seis días de campo y once conferencias, en los cuales seis cañicultores innovadores presentaron sus experiencias, al tiempo que 22 profesionales de ocho ingenios y 22 investigadores de Cenicaña fueron expositores; en total asistieron 647 cultivadores de caña.

En todos los eventos las presentaciones estuvieron orientadas a promover el desarrollo de la agricultura específica por sitio y las mejores prácticas desde el punto de vista técnico, ambiental, económico y de control de calidad. En el sitio web de Cenicaña se publican las memorias de los eventos y el calendario de actividades. Para el segundo semestre de 2009 se tienen programados 21 eventos en distintos temas.

Memorias primer semestre

- ♣ **Cosecha mecanizada:** Diseño de campo, programación de la cosecha y su operación, labores de precosecha y poscosecha, maquinaria y equipos.
- ♣ **Costos y administración:** Identificación de los costos de producción y administración; rentabilidad y toma de decisiones.
- ♣ **Prácticas innovadoras en el cultivo de la caña de azúcar:** Un agricultor con visión de empresario, comprometido con las buenas prácticas de manejo y la responsabilidad social empresarial, comparte su experiencia.
- ♣ **Variedades de caña de azúcar y semilleros:** Avances en la selección de nuevas variedades, uso de la zonificación agroecológica para su ubicación y manejo de semilleros.
- ♣ **Control de calidad de las labores de campo:** Detalles acerca de los criterios para el control de calidad en las distintas labores.
- ♣ **Alternativas de fertilización:** Experiencias con el uso de microorganismos, bioestimulantes, abonos orgánicos y fertilización foliar.
- ♣ **Maduración de la caña de azúcar:** Prácticas, productos, dosis, productividad, costo-beneficio, avances en investigación.
- ♣ **Renovación de plantaciones:** Criterios técnicos y económicos en la decisión de renovación. Secuencia de labores de preparación de suelos y reducción de costos.
- ♣ **Proceso de elaboración de azúcar:** Descripción del proceso de recepción de caña, molienda y elaboración de azúcares y mieles.



Día de campo sobre cosecha mecanizada, GTT Ingenio Providencia.

Programa de eventos y memorias

<www.cenicana.org/investigacion/scft/red_gtt.php>

Desde 1978

Servicio de Información y Documentación de la Caña de Azúcar, Seica

Por: Adriana Arenas C., Jefe del Servicio de Información y Documentación <biblioteca@cenicana.org>; Victoria Carrillo C., Especialista en Comunicación Técnica, Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología <vecarrillo@cenicana.org>. Cenicaña.

La misión del Seica es mantener actualizado al sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia en las metodologías y avances tecnológicos referentes al cultivo y procesamiento de la caña de azúcar, mediante el acceso a la documentación bibliográfica.

Novedad en web

Glosario y Tesauro

Diseñado para hacer búsquedas simples por palabra, alfabéticas o por área de especialidad.

<www.cenicana.org/biblioteca/tesauro/tesauro.php>



El 31 de marzo de 2009 Cenicaña publicó en internet el Glosario y Tesauro de la Agroindustria de la Caña de Azúcar de Colombia, un proyecto coordinado por el Servicio de Información y Documentación, Seica, del centro de investigación.

El Glosario y Tesauro está siendo elaborado con el objetivo de facilitar la comunicación entre los usuarios de la información técnica y científica en el ámbito azucarero.

Mientras el Glosario ayuda a clarificar y unificar conceptos acerca de los términos más usados, el Tesauro es una herramienta útil para el análisis de información y la descripción de documentos y objetos digitales mediante el uso de los términos normalizados.

La versión publicada contiene 466 términos con sus definiciones. Además de las opciones de consulta, el Glosario y Tesauro cuenta con un buzón de correo directo para que los usuarios sugieran la inclusión de términos nuevos, la corrección o el afinamiento de las definiciones y las relaciones establecidas.

El sistema de información del Glosario y Tesauro es dinámico, de manera que las tareas de actualización y validación de los términos, sus conceptos, y las relaciones entre ellos son permanentes.

**Servicios a la comunidad en la Biblioteca
Guillermo Ramos Núñez en la Estación
Experimental de Cenicaña**

Servicios

- ♦ **Catálogo en línea:** Más de 34,600 referencias bibliográficas en internet, 462 de ellas con documentos electrónicos en texto completo.
<www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_enlinea.php>
- ♦ **Boletines electrónicos:** Novedades acerca de los documentos producidos por Cenicaña y las tablas de contenido de las revistas y las memorias de eventos disponibles en la biblioteca, con enlaces a los textos completos en versión electrónica accesibles en línea.
- ♦ **Otros servicios para el público en general:**
 - Consulta en sala de lectura y acceso a internet.
 - Envío de documentos electrónicos y fotocopias.
 - Búsquedas en otras bases de datos disponibles en internet y en discos compactos.
 - Servicios de referencia para la localización de información y documentación en las colecciones propias y de otros servicios de información nacional e internacional.
 - Servicios de bibliografías especializadas que resultan de una búsqueda específica; se entregan al solicitante para su consulta y usos posteriores.
- ♦ **Servicios especiales para los productores azucareros donantes de Cenicaña** (además de los anteriores):
 - Adquisiciones de material bibliográfico mediante la compra de documentos en diferentes formatos, en áreas de interés para el sector.
 - Préstamo de documentos.
 - Intercambio de documentos electrónicos con otras bibliotecas.
 - Distribución de las publicaciones editadas por Cenicaña.
- ♦ **Cooperación con otras bibliotecas institucionales:**
Canje de publicaciones y préstamos interbibliotecarios.

Colecciones

- ♦ **Caña de azúcar:** Compuesta por documentos en temas relacionados con el cultivo y su aprovechamiento industrial para la producción de azúcar, etanol y biocombustibles, que representan el 87% de los documentos disponibles en la biblioteca.
- ♦ **Colección general:** Más de 4400 documentos en temas de agricultura, biología, química, entomología, biotecnología, suelos y aguas, entre otros.
- ♦ **Hemeroteca:** Conformada por 693 títulos de revistas.
- ♦ **Otras colecciones:** Mapas, referencia, restringida y comité cultural.



Comprometidos con el medio ambiente

Quince años de la Red Meteorológica Automatizada en la agroindustria de la caña de azúcar de Colombia

Por: Enrique Cortés Betancourt, Ingeniero Meteorólogo M.Sc., <ecortes@cenicana.org>. Cenicaña.



▲ En la Estación Experimental de Cenicaña opera desde 1982 una estación climatológica convencional (Clase A) junto a la cual se instaló una estación automatizada que comenzó a operar en 1993.

Reseña histórica de un compromiso que apenas comienza...

El primero de septiembre de 1993 se inauguró la Red Meteorológica Automatizada del Sector Azucarero (RMA) con doce estaciones que fueron ubicadas con el criterio de cubrir la mayor parte del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca. La red completó 34 estaciones en 2007 y 15 años de operación continua en 2008.

Cronología de la RMA

1993 • El primero de septiembre comienza a operar la RMA con doce estaciones que cubren la parte plana del valle del río Cauca. Se delega en Cenicaña la operación y administración de la red, la base de datos y los servicios de información derivados. Los ingenios afiliados a Asocaña comprometidos con el proyecto le encargan también a Cenicaña el mantenimiento preventivo de las estaciones, la instalación de estaciones nuevas y la capacitación necesaria para el uso de la información.

1995 • Se integran a la RMA cinco estaciones nuevas • Los ingenios afiliados a Asocaña establecen en sus procedimientos habituales de cosecha el uso de información climatológica para la programación de quemas e información meteorológica para su realización.

1996 • Cinco estaciones nuevas entran en operación; la RMA reúne 22 estaciones • Cenicaña determina un factor de conversión para estimar la evaporación requerida para el cálculo del balance hídrico automatizado por base en la evapotranspiración calculada por las estaciones de la RMA • Cenicaña realiza un estudio detallado del campo del viento para el valle del río Cauca con información de la RMA.

1997 • Seis estaciones nuevas se integran a la RMA • En un proyecto interinstitucional, la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca), Asocaña, ingenios azucareros y Cenicaña realizan un estudio piloto para definir pautas de manejo de las quemas agrícolas abiertas controladas de caña de azúcar; utilizan para el efecto información meteorológica y climatológica de estaciones de la RMA e información cartográfica, así como sensores portátiles de viento.

1998 • La CVC renueva el permiso de quemas agrícolas abiertas controladas de caña de azúcar y, por primera vez, establece el uso de información meteorológica como requisito para su realización, con el propósito de minimizar las molestias que las quemas puedan causar en las poblaciones.

2000 • Cenicaña realiza estudios con el fin de determinar un índice climático para estimar el efecto del clima en el cultivo de la caña de azúcar • Se inicia la caracterización estadística de las variables climáticas para diferentes zonas del valle del río Cauca.

2001 • La estación número 29 se integra a la RMA • Cenicaña realiza la investigación *Incidencia de los fenómenos El Niño y La Niña en las condiciones climáticas del valle de río Cauca* • En cooperación con un ingenio azucarero, Cenicaña realiza un estudio en el que se utiliza información meteorológica para analizar la dispersión de material particulado desde fuentes fijas (chimeneas) • Cenicaña utiliza los registros de la RMA para elaborar la tercera aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

2003 • Se ofrecen en internet <www.cenicana.org> nuevos servicios de información de la RMA.

2004 • Cenicaña realiza el estudio *Estimación de datos de evaporación diaria a partir de datos de otras variables meteorológicas*.

2005 • El sistema de transmisión de datos de la RMA se cambia de radiofrecuencia a telefonía celular.

2006 • Cuatro nuevas estaciones se integran a la RMA • Cenicaña desarrolla un sistema automatizado de consulta y transmisión de datos meteorológicos en tiempo real.

2007 • Se instala una estación nueva, con la cual se completan 34 estaciones integradas a la RMA • Entra en operación la Red PM10 del sector azucarero, con cinco estaciones; su administración se encarga a Cenicaña.

2008 • Se elabora la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca • RMA apoya proyectos de riego y drenaje en el programa "Agro Ingreso Seguro".

Servicios en internet

www.cenicana.org/clima_/index.php

Boletines diarios RMA

- **Nuevo:** Seguimiento diario de la precipitación mensual.
- Datos diarios de las variables climatológicas principales.
- Datos diarios de evaporación y precipitación para el cálculo del balance hídrico.

Sistema de consultas a la base de datos RMA

- Información meteorológica y climatológica de la RMA: tablas de datos y gráficos de las principales variables atmosféricas.

Servidor de Mapas

- Mapas temáticos elaborados con datos meteorológicos y climatológicos horarios, diarios, mensuales y anuales.



Área de influencia de las estaciones RMA

Prueba regional de variedades en zonas semisecas: Resultados de las Series 97 a 01 en plantilla

Carlos A. Viveros, Luis O. López, Fredy A. Salazar,
Juan Carlos Ángel S., Luis A. Gómez y Jorge I. Victoria*

*Avances de
investigación*

Resultados preliminares
y conclusiones finales
de los proyectos
de investigación científica
y tecnológica
de Cenicaña



Variedad CC 01-678

Introducción

Los experimentos de selección de variedades de caña de azúcar para las zonas semisecas de la parte plana del valle del río Cauca se llevan a cabo en sitios representativos de las zonas agroecológicas (cuarta aproximación) caracterizadas por condiciones de humedad H0, H1 y H2. Las variedades son seleccionadas por su adaptación, al tiempo que se busca aumentar el contenido de sacarosa por lo menos en 5% con respecto a la variedad testigo y mantener el tonelaje de caña por hectárea.

El proceso de obtención de variedades Cenicaña Colombia (CC) para las zonas semisecas comienza en la Estación Experimental de Cenicaña en San Antonio de los Caballeros (Florida, Valle del Cauca), donde se llevan a cabo los estados I y II de selección. Posteriormente, los materiales que pasan al estado III de selección y a la prueba regional son sembrados en tierras de los ingenios, en las zonas agroecológicas de mayor área en la agroindustria.

Se presentan a continuación los resultados de la plantilla del experimento de la prueba regional con variedades de las series 97 a 01 sembradas durante el segundo semestre de 2007 en los ingenios Incauca, Manuelita, Mayagüez, Providencia, Riopaila y Sancarlos. La cosecha fue manual y en verde limpio, entre septiembre de 2008 y enero de 2009; la edad de corte osciló entre 14.0 y 16.3 meses.

El experimento está programado para tres cortes: plantilla y dos socas. De acuerdo con lo anterior, los resultados que se presentan en este documento son preliminares. Para tener conclusiones acerca de esta prueba regional se deben completar los dos cortes siguientes.

* Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Fitomejorador <caviveros@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, Investigador Temporal; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Fitomejorador; Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Fitopatólogo; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Entomólogo; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Director del Programa de Variedades. Todos de Cenicaña.

Materiales y métodos

Variedades de caña de azúcar. El experimento incluye 17 variedades en evaluación: dos de la serie 97, una de la serie 98, una de la serie 99, cinco de la serie 00 y ocho de la serie 01 (Cuadro 1). Los testigos comerciales son CC 85-92 y MZC 74-275.

Diseño experimental. La prueba regional fue sembrada en un diseño de látice 4x5 con tres repeticiones. La unidad experimental es una parcela de seis surcos a lo largo del tablón, con longitudes de surco entre 70 m y 122 m y distancias entre surcos de 1.65 m ó 1.75 m.

Sitios de la prueba regional. El experimento se realiza en cooperación con seis ingenios azucareros, buscando que cada sitio experimental se encuentre en la zona agroecológica más representativa de cada ingenio (Cuadro 2 y mapa).

Evaluación sanitaria. La evaluación de enfermedades se realizó entre los 4 y los 6 meses de edad de la plantilla, mientras que la evaluación del insecto barrenador del tallo *Diatraea* spp. se llevó a cabo al momento de la cosecha.

Cuadro 1. Variedades evaluadas en la prueba regional en zonas semisecas (series 97 a 01) y sus progenitores.

Variedad	Madre	Padre
CC 97-7170	MZC 74-275	⊗ ¹
CC 97-7565	V 71-51	MZC 74-275
CC 98-426	MZC 74-275	⊗
CC 99-1405	CC 94-5787	CC 91-1599
CC 00-2639	CC 93-7513	CC 93-7436
CC 00-2924	CC 87-504	?
CC 00-3068	CP 78-2086	ICA 69-11
CC 00-3079	PR 61-632	CP 57-603
CC 00-3191	CP 78-2086	?
CC 01-1228	CCSP 89-1997	?
CC 01-1305	CC 87-117	CC 82-04
CC 01-1484	MZC 74-275	?
CC 01-1508	CCSP 89-1997	?
CC 01-1567	CC 93-7449	?
CC 01-1789	RD 75-11	CP 82-1995
CC 01-678	CC 93-4076	M 336 * PR 980
CC 01-746	MZC 74-275	?
MZC 74-275	POJ 2878	CP 57-603
CC 85-92	Co 775	?

1: ⊗ Autofecundación.

Sitios de experimentación de la prueba regional



Cuadro 2. Sitios de la prueba regional en zonas semisecas con variedades de las series 97 a 01.

Ingenio	Hacienda	Suerte	Suelo			Zona agroecológica
			Consociación	Subgrupo	Familia textural	
Incauca	San Fernando	11Z	Manolo	Udifluventic Haplustolls	Francosa fina	11H3
Manuelita	La Cabaña	20A	Palmira	Pachic Haplustolls	Francosa fina	11H1
Mayagüez	San Rafael	41B	Palmira	Pachic Haplustolls	Francosa fina	11H1
Providencia	Marsella	506	Galpón	Typic Calciusterts	Fina	6H1
			Corintias	Typic Haplusterts	Fina	
Riopaila	La Luisa	50	La selva	Vertic Haplustolls	Limosa fina sobre arcillosa	15H1
Sancarlos	Esmeralda	87A	Corintias	Typic Haplusterts	Fina	6H1

Resultados y discusión

Se presentan a continuación los resultados de la evaluación sanitaria y el análisis de los resultados de productividad de las variedades en términos de las toneladas de sacarosa producidas por hectárea (TSH) según la combinación de sacarosa (% caña) y el tonelaje de caña por hectárea (TCH).

Para cada localidad se muestra el análisis de las medias de cada variable por variedad (promedio de tres repeticiones) en comparación con las medias del sitio. Con base en las medias por variedad en las seis localidades se presenta un análisis combinado de la prueba regional, para finalizar con un análisis de estabilidad que proporciona información acerca del efecto que puede tener el ambiente en la productividad de las variedades en proceso de evaluación.

En el Cuadro 3 se presentan las fechas de siembra y cosecha del experimento en cada localidad.

Evaluación sanitaria

En los diferentes sitios de evaluación las variedades se observaron sanas, excepto la CC 01-1789 que en los seis ingenios presentó roya café (*Puccinia melanocephala* H. & P. Syd.) con reacción en grado 5 e incidencia de daño alta, entre 12% y 20%. En algunos ingenios se observó baja incidencia de roya en las variedades CC 00-2924, CC 00-3191, CC 01-1228, CC 01-1508 y CC 97-7170. La incidencia en CC 85-92 no fue más del 8% con reacción en grado 5, mientras que en la variedad MZC 74-275, que es susceptible a la enfermedad, la incidencia de roya estuvo entre 20% y 30% con reacción en grado 6.

No se encontró presencia de carbón ni de mosaico en las variedades evaluadas: se confirmó que todas tienen resistencia genética a estas enfermedades. En Incauca y Mayagüez se observaron incidencias altas de mancha de ojo en la variedad CC 01-1305.

En cuanto a la evaluación de la resistencia o susceptibilidad de las variedades al barrenador *Diatraea* spp. se identificaron nueve variedades con índice intermedio, tres medianamente susceptibles y una susceptible (CC 01-1484), tres medianamente resistentes y una resistente (CC 00-3191).

Como criterio de análisis se presume que las mejores variedades son aquellas que superan la productividad media obtenida en cada sitio experimental: variedades que se ubican en el cuadrante superior derecho de la figura de isocurvas.

Para la identificación de las variedades promisorias se analizan las combinaciones de sacarosa (% caña) y tonelaje (TCH) que dan lugar a los resultados en términos de toneladas de sacarosa por hectárea (TSH), así como se tienen en cuenta las evaluaciones sanitarias.

Análisis por localidad

Se presentan las curvas de isoproductividad con los resultados del primer corte de las variedades en cada uno de los seis sitios donde se lleva a cabo el experimento de la prueba regional.

Los resultados de productividad de cada variedad corresponden a los valores medios de las tres repeticiones sembradas en cada localidad.

Como criterio de análisis se presume que las mejores variedades son aquellas que superan la productividad media obtenida en cada sitio experimental: variedades que se ubican en el cuadrante superior derecho de la figura de isocurvas. Para la identificación de las variedades promisorias se analizan las combinaciones de sacarosa (% caña) y tonelaje (TCH) que dan lugar a los resultados en términos de toneladas de sacarosa por hectárea (TSH), así como se tienen en cuenta las evaluaciones sanitarias.

Los resultados a continuación se presentan en orden de edad de cosecha: se comienza en Manuelita con 14 meses (julio 2007-septiembre 2008) y se concluye en Incauca con 16.3 meses (septiembre 2007-enero 2009).

Cuadro 3. Fechas de siembra y cosecha en la prueba regional de variedades de las series 97 a 01 en zonas semisecas.

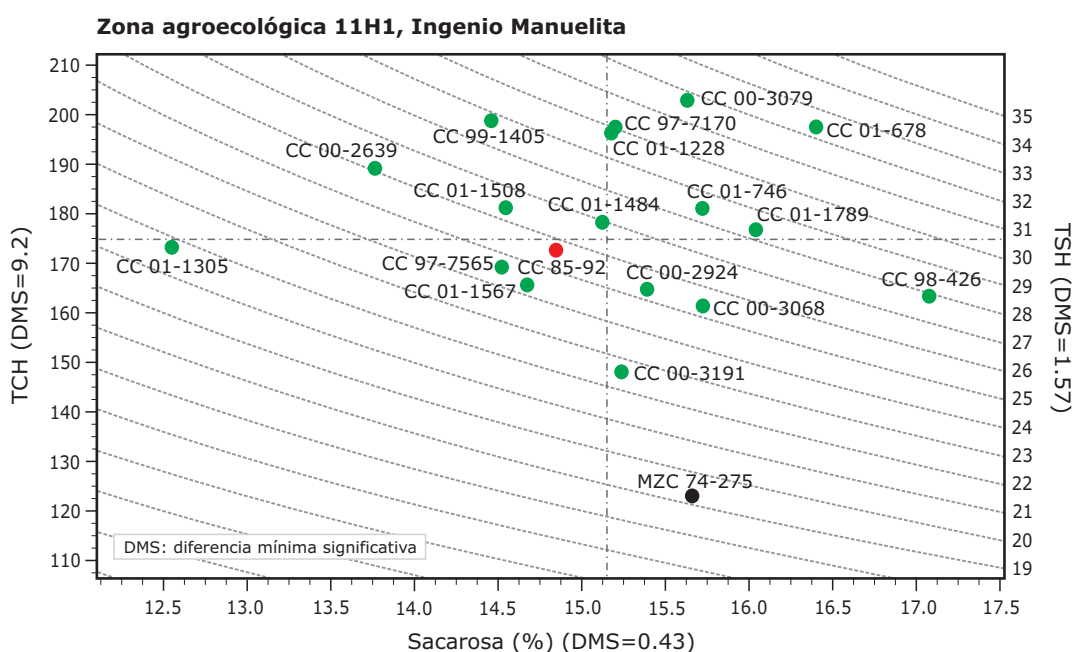
Ingenio	Hacienda y suerte	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Edad de cosecha (Meses)
Incauca	San Fernando 11Z	26-sep-2007	26-ene-2009	16.3
Manuelita	La Cabaña 20A	10-jul-2007	03-sep-2008	14.0
Mayagüez	San Rafael 41B	03-oct-2007	21-ene-2009	15.9
Providencia	Marsella 506	10-ago-2007	10-nov-2008	15.3
Riopaila	La Luisa 50	23-ago-2007	29-oct-2008	14.2
Sancarlos	Esmeralda 87A	05-sep-2007	12-nov-2008	14.5

Zona agroecológica 11H1, Ingenio Manuelita

- Las variedades fueron cosechadas a los 14 meses de edad. Los valores medios de productividad de todas las variedades en el sitio experimental fueron iguales a 15.15% de sacarosa en caña, 175 TCH y 26.52 TSH. Durante el ciclo de cultivo se registraron 1940 mm de precipitación.
- En este primer corte se destacaron seis variedades: CC 01-678, CC 00-3079, CC 97-7170, CC 01-1228, CC 01-746 y CC 01-1484, todas ellas con resultados en sacarosa y tonelaje superiores a la media de todas las variedades y del testigo CC 85-92 (Figura 1).
- En general, once variedades estuvieron por encima de CC 85-92 en términos de TSH. Los valores más bajos de esta variable se registraron con el testigo MZC 74-275 que en este sitio tuvo el menor tonelaje de caña por hectárea del grupo.
- Con respecto a sacarosa (% caña), cuatro variedades superaron el promedio obtenido con MZC 74-275: CC 98-426, CC 01-678, CC 00-3068 y CC 01-746.
- En TCH sobresalieron, además de las mencionadas, las variedades CC 99-1405 y CC 00-2639.



Variedad CC 01-678



Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 01-678	16.40	197	32.38
CC 00-3079	15.65	203	31.76
CC 97-7170	15.21	197	29.91
CC 01-1228	15.19	196	29.88

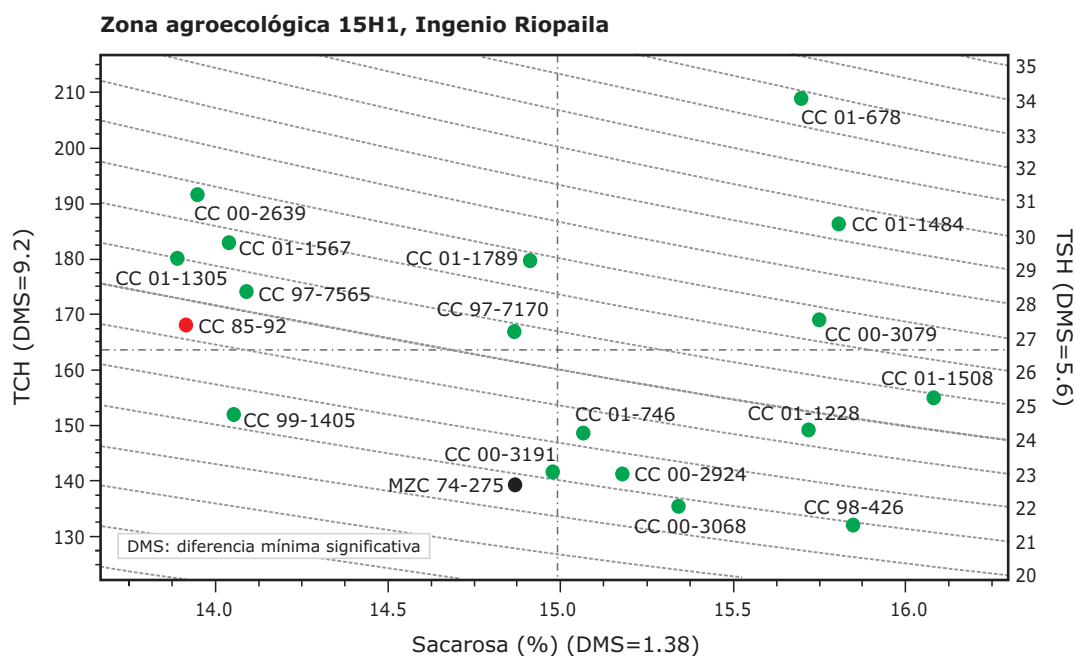
Figura 1. Curvas de isoproductividad de la prueba regional en zonas semisecas con variedades de las series 97 a 01. Ingenio Manuelita, zona agroecológica 11H1. Edad de cosecha: 14.0 meses (plantilla).

Zona agroecológica 15H1, Ingenio Riopaila

- Las variedades fueron cosechadas a los 14.2 meses de edad. Los valores medios en el sitio experimental fueron iguales a 14.95% de sacarosa en caña, 163 TCH y 24.27 TSH. Durante el ciclo de cultivo se registraron 1689 mm de precipitación.
- Se destacaron las variedades CC 01-678, CC 01-1484 y CC 00-3079 por sacarosa (% caña) y TCH superiores a la media de todas las variedades (Figura 2).
- Con respecto a sacarosa (% caña) sobresalieron, además: CC 01-1508, CC 98-426 y CC 01-1228 y CC 01-678 con valores mayores de 15.5%. En general, las variedades en evaluación estuvieron por encima de CC 85-92 en sacarosa.
- En TCH sobresalieron, además de las mencionadas, CC 00-2639, CC 01-1567 y CC 01-1305, con resultados mejores que el testigo CC 85-92.



Variedad CC 00-3079



Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 01-678	15.70	209	32.58
CC 01-1484	15.81	186	28.77
CC 00-2639	13.95	192	27.27
CC 01-1567	14.04	183	26.29

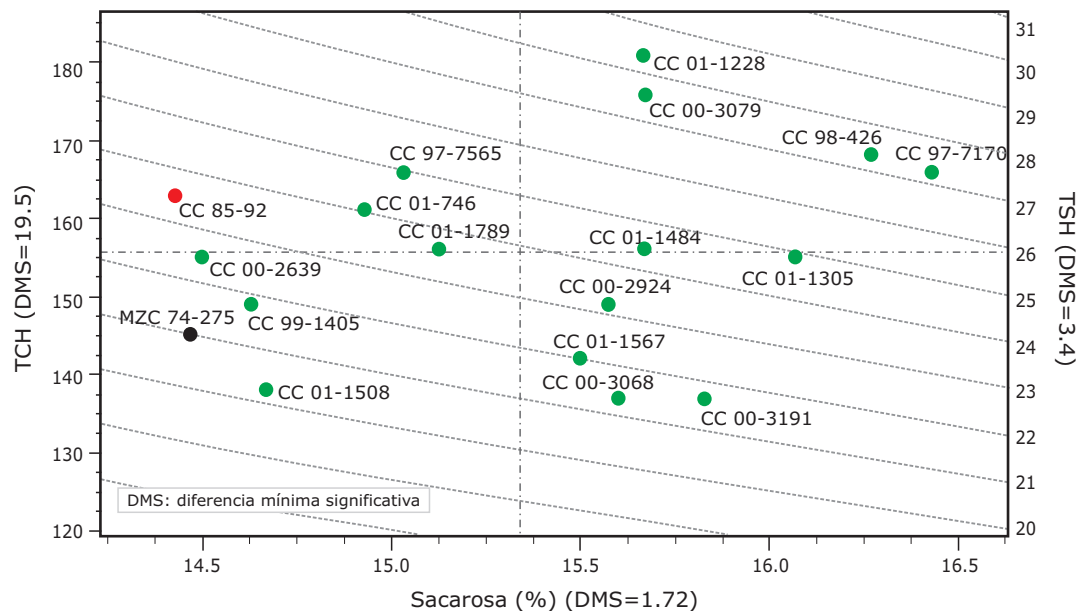
Figura 2. Curvas de isoproductividad de la prueba regional en zonas semisecas con variedades de las series 97 a 01. Ingenio Riopaila, zona agroecológica 15H1. Edad de cosecha: 14.2 meses (plantilla).



Zona agroecológica 6H1, Ingenio Sancarlos

- Las variedades fueron cosechadas a los 14.5 meses de edad. Los valores medios en el sitio experimental fueron iguales a 15.34% de sacarosa en caña, 156 TCH y 23.83 TSH.
- En este primer corte en Sancarlos, los dos testigos comerciales presentaron los valores de sacarosa (% caña) más bajos del grupo, sin diferencias significativas con respecto a la media. Además, MZC 74-275 produjo 11% menos TCH y TSH que CC 85-92. Durante el ciclo de cultivo se registraron 1608 mm de precipitación.
- Se destacaron las variedades CC 01-1228, CC 00-3079, CC 98-426 y CC 97-7170 con sacarosa (% caña) y TCH superiores a la media de todas las variedades en evaluación (Figura 3).
- Además de las anteriores, otras cuatro variedades fueron mejores que el testigo CC 85-92 en TSH: CC 97-7565, CC 01-746, CC 01-1448 y CC 01-1305.

Zona agroecológica 6H1, Ingenio Sancarlos



Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 01-1228	15.67	181	28.25
CC 00-3079	15.67	176	27.89
CC 98-426	16.27	168	27.71
CC 97-7170	16.43	166	27.65

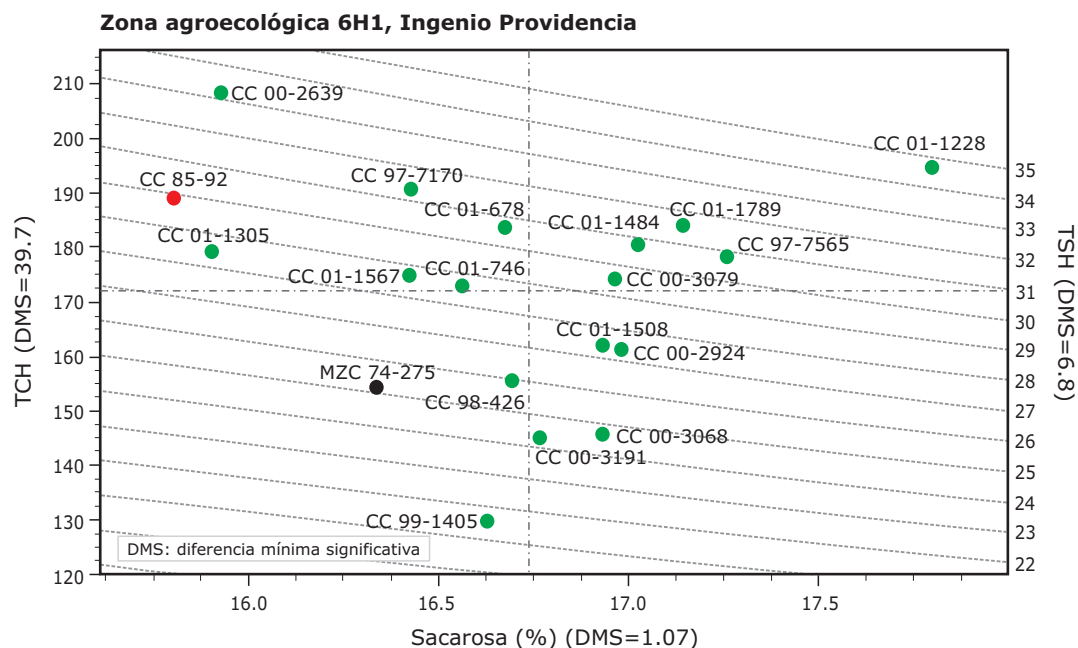
Figura 3. Curvas de isoproductividad de la prueba regional en zonas semisecas con variedades de las series 97 a 01. Ingenio Sancarlos, zona agroecológica 6H1. Edad de cosecha: 14.5 meses (plantilla).

Zona agroecológica 6H1, Ingenio Providencia

- Las variedades fueron cosechadas a los 15.3 meses de edad. Los valores medios en el sitio experimental fueron iguales a 16.70% de sacarosa en caña, 172 TCH y 28.65 TSH. Durante el ciclo de cultivo se registraron 935 mm de precipitación.
- Se destacó la variedad CC 01-1228 por la combinación de sacarosa (% caña) y TCH, con valores superiores a la media de todas las variedades y de los testigos (Figura 4).
- También estuvieron por encima de la media general las variedades CC 97-7565, CC 01-1484 y CC 00-3079, aunque las tres presentaron TCH menores que CC 85-92, testigo comercial que en este sitio produjo 189 TCH.
- La variedad CC 00-2639 se ubicó en el segundo puesto en términos de TSH, después de CC 01-1228, pero no se consideró como destacada por su bajo porcentaje de sacarosa con respecto al grupo, muy cercano al obtenido por CC 85-92 e inferior al de MZC 74-275.
- Quince variedades superaron en sacarosa (% caña) al testigo MZC 74-275. Sobresalieron: CC 01-1228, CC 97-7565, CC 01-1484, CC 00-3079, CC 00-2924, CC 01-1508 y CC 00-3068, con valores mayores o iguales a 17% de sacarosa en caña.
- Aunque once variedades fueron sobresalientes en TCH con respecto a la media general, sólo CC 00-2639 y CC 01-1228 presentaron tonelajes más altos que el testigo CC 85-92.



Variedad CC 01-1228



Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 01-1228	17.80	195	34.75
CC 00-2639	15.92	208	32.40
CC 97-7170	16.43	190	30.95
CC 97-7565	17.26	179	30.84

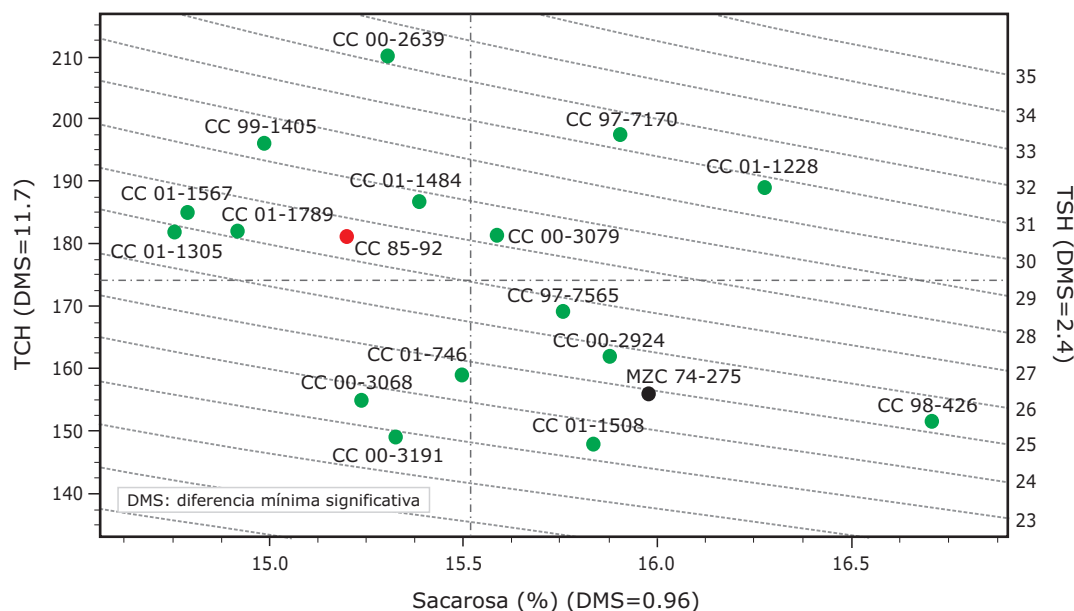
Figura 4. Curvas de isoproductividad de la prueba regional en zonas semisecas con variedades de las series 97 a 01. Ingenio Providencia, zona agroecológica 6H1. Edad de cosecha: 15.3 meses (plantilla).



Zona agroecológica 11H1, Ingenio Mayagüez

- Las variedades fueron cosechadas a los 15.9 meses de edad. Los valores medios en el sitio experimental fueron iguales a 15.52% de sacarosa en caña, 174 TCH y 27.05 TSH. Durante el ciclo de cultivo se registraron 1609 mm de precipitación.
- Se destacaron las variedades CC 97-7170 y CC 01-1228 por la combinación de sacarosa (% caña) y TCH, con valores superiores a la media de todas las variedades y de los testigos (Figura 5). También se destacó CC 00-3079, variedad que estuvo por encima de la media del grupo y que presentó mayor sacarosa e igual TCH que el testigo CC 85-92.
- Con el valor más alto de TSH en este sitio sobresalió CC 00-2639, una variedad con 18% más TCH que CC 85-92 pero con sacarosa en caña inferior con respecto a la media del grupo y al testigo MZC 74-275. La variedad CC 85-92 produjo 181 TCH.
- En sacarosa (% caña) sobresalieron las variedades CC 98-426 y CC 01-1228 (superiores al testigo MZC 74-275), así como CC 97-7170, CC 97-7565, CC 01-2924 y CC 01-1508 (superiores a CC 85-92), todas ellas con valores de sacarosa por encima de la media general.
- Nueve variedades presentaron valores de TCH mayores o iguales que la media general y la media de CC 85-92. Sobresalieron: CC 00-2639, CC 97-7170, CC 99-1405, CC 01-1228 y CC 01-1484 con valores entre 196 TCH y 210 TCH.

Zona agroecológica 11H1, Ingenio Mayagüez



Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 00-2639	15.31	210	32.20
CC 97-7170	15.91	197	31.37
CC 01-1228	16.28	189	30.80
CC 99-1405	14.99	196	29.37

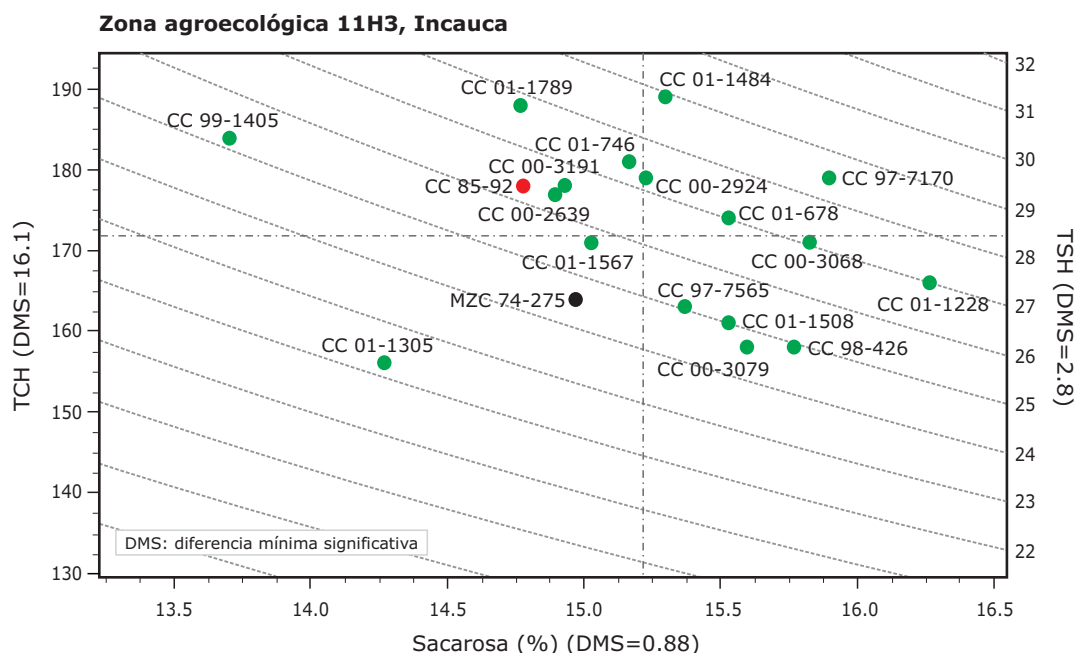
Figura 5. Curvas de isoproductividad de la prueba regional en zonas semisecas con variedades de las series 97 a 01. Ingenio Mayagüez, zona agroecológica 11H1. Edad de cosecha: 15.9 meses (plantilla).

Zona agroecológica 11H3, Incauca

- Las variedades fueron cosechadas a los 16.3 meses de edad. Los valores medios en el sitio experimental fueron iguales a 15.20% de sacarosa en caña, 172 TCH y 26.19 TSH. Los resultados de los testigos fueron, para CC 85-92: 14.78%, 178 TCH y 26.29 TSH; y para MZC 74-275: 14.97%, 164 TCH y 24.77 TSH.
- En este sitio experimental de Incauca el exceso de humedad en el suelo es mayor que en las otras cinco localidades que conforman la prueba regional. Durante el ciclo de cultivo se registraron 2211 mm de precipitación.
- Se destacaron las variedades CC 01-1484 y CC 97-7170 por la combinación de sacarosa (% caña) y TCH, con valores superiores al

promedio de todas las variedades y de los testigos (Figura 6). También se destacó CC 01-678, aunque su tonelaje de caña fue levemente inferior del testigo CC 85-92.

- Otras variedades sobresalientes, con productividad mayor o igual a 27 TSH, fueron: CC 01-746 y CC 00-2924 (sacarosa y TCH superiores a los testigos); CC 01-1228, CC 01-678 y CC 00-3068 (porcentajes de sacarosa en caña mejores que MZC 74-275).
- Doce variedades presentaron más de 15% de sacarosa en caña, valor superior con respecto al testigo MZC 74-275. Fue sobresaliente, además de las mencionadas antes, la variedad CC 98-426.
- En relación con TCH sobresalieron también las variedades CC 99-1405 y CC 01-746.



Variación	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 01-1484	15.30	189	29.01
CC 97-7170	15.90	179	28.32
CC 01-746	15.17	181	27.48
CC 00-2924	15.23	179	27.39

Figura 6. Curvas de isoproductividad de la prueba regional en zonas semisecas con variedades de las series 97 a 01. Incauca, zona agroecológica 11H3. Edad de cosecha: 16.3 meses (plantilla).

Análisis combinado de los sitios

En el análisis combinado de la prueba regional a través de los seis sitios se destacaron en TSH las variedades: CC 01-678 (18% más TSH que el testigo CC 85-92), CC 01-1228 (11% más), CC 97-7170 (11% más), CC 00-3079 (8% más) y CC 01-1484 (8% más) (Figura 7).

Con respecto a sacarosa (% caña) sobresalieron: CC 01-678, CC 01-1228, CC 98-426, CC 97-7170, CC 00-3079, CC 00-3068 y CC 00-2924, todas superiores al testigo CC 85-92.

En TCH, las variedades sobresalientes fueron CC 01-678, CC 00-2639, CC 97-7170, CC 01-1228 y CC 01-1789, con valores superiores al testigo.

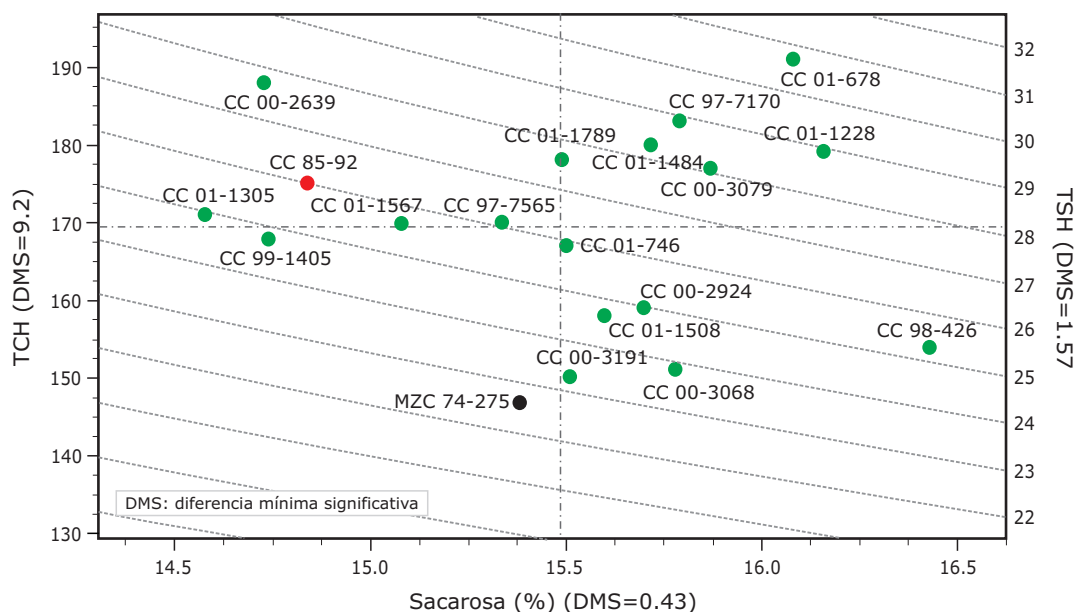


Figura 7. Curvas de isoproductividad de la prueba regional en zonas semisecas con variedades de las series 97 a 01 (plantilla). Análisis combinado con los resultados de seis sitios.



CC 97-7170



CC 00-2639



CC 00-2924



CC 00-3068



CC 01-1484



CC 98-426

Análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad fue hecho por la metodología del coeficiente de regresión de Eberharth y Russell (1966) y el análisis de componentes principales aditivos e interacciones multiplicativas AMMI (*Additive main effects and multiplicative interaction*) (Gauch y Zobel, 1996).

En la Figura 8 se muestran los parámetros de estabilidad de Eberharth y Russell para TSH. Para que una variedad se considere estable debe presentar un coeficiente de regresión b igual a 1 y valores de TSH superiores al promedio general del ensayo en todos los sitios.

Así, en este primer corte de la prueba regional sobresalieron las variedades CC 01-1228, CC 00-2639, CC 01-1789, CC 01-746 y CC 97-7170 con un coeficiente de regresión superior a 1 y valores de TSH superiores a la media general y al testigo relativo CC 85-92, lo cual indica que estas variedades tienen buen tonelaje de sacarosa por hectárea (valores altos de sacarosa (% caña) y TCH) y, además, que tienden a mejorar su expresión cuando ocurren cambios favorables en el medio ambiente.

Las variedades CC 01-1484, CC 00-3079 y CC 01-678, mostraron valores altos de TSH y coeficientes de regresión inferiores a 1, lo que sugiere que son de buena adaptación en sitios que presentan factores limitantes.

Según la metodología AMMI, para que una variedad sea estable debe tener valores de PCA cercanos o iguales a cero y una media alta de la variable analizada. De acuerdo con lo anterior, las variedades que están muy cerca de un PCA de cero y media de TSH superior a la media general tienen alto potencial en TSH y son estables por presentar poca interacción con el ambiente. Los ambientes con PCA cerca de cero son bastante homogéneos en cuanto a la expresión de los genotipos, mientras que los ambientes con PAC distantes del centro permiten hacer una mejor discriminación de las variedades. El análisis de los resultados de la plantilla de las 17 variedades de las series 97 a 01 en la prueba regional con la metodología AMMI muestra que las variedades CC 01-1484, CC 01-678, CC 01-1228 y CC 97-7170 fueron las de mayor estabilidad entre sitios, al tiempo que CC 00-3079 y CC 01-1789, aunque de menor estabilidad, se destacaron por presentar altos TSH e interacciones positivas en los distintos ambientes (Figura 9).

Comentarios finales

Las variedades de mejor adaptación en cada sitio fueron: CC 01-678 y CC 00-3079 en el Ingenio Manuelita (zona agroecológica 11H1); CC 01-678 y CC 01-1484 en Rio-paila (15H1); CC 01-1228 y CC 97-7170 en el Ingenio Sancarlos (6H1); CC 01-1228 en el Ingenio Providencia (6H1); CC 97-7170 y CC 01-1228 en el Ingenio Mayagüez (11H1); CC 01-1484 y CC 97-7170 en Incauca (11H3). Las variedades CC 01-1484, CC 01-678, CC 01-1228 y CC 97-7170 fueron las de mayor estabilidad entre sitios.

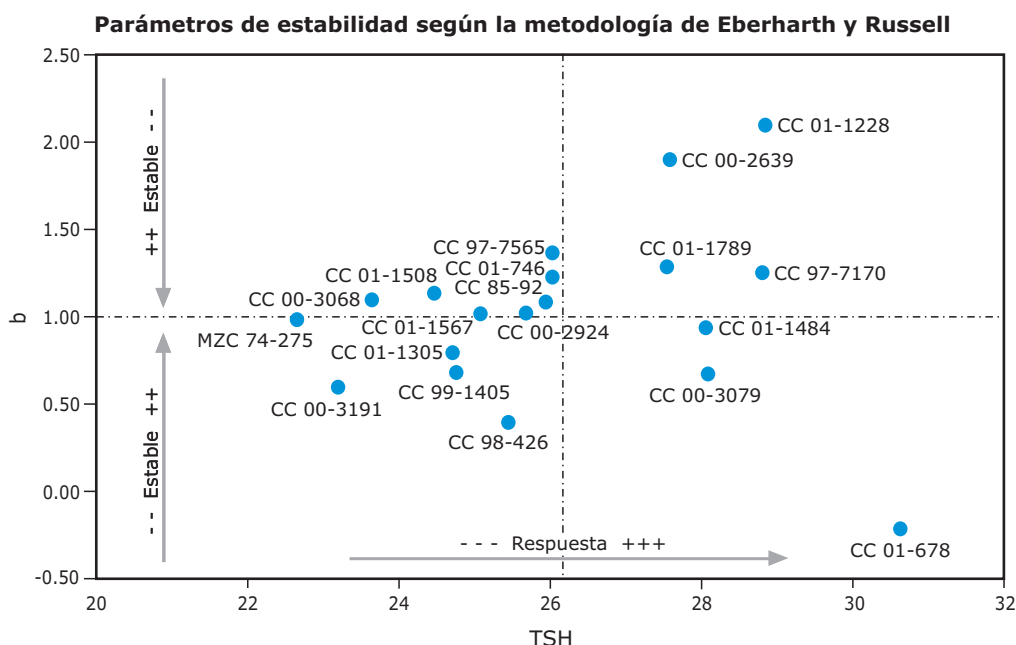


Figura 8. Análisis de estabilidad para TSH en seis localidades mediante la estimación del coeficiente de regresión de Eberharth y Russell. Prueba regional en zonas semisecas, series 97 a 01 (plantilla).

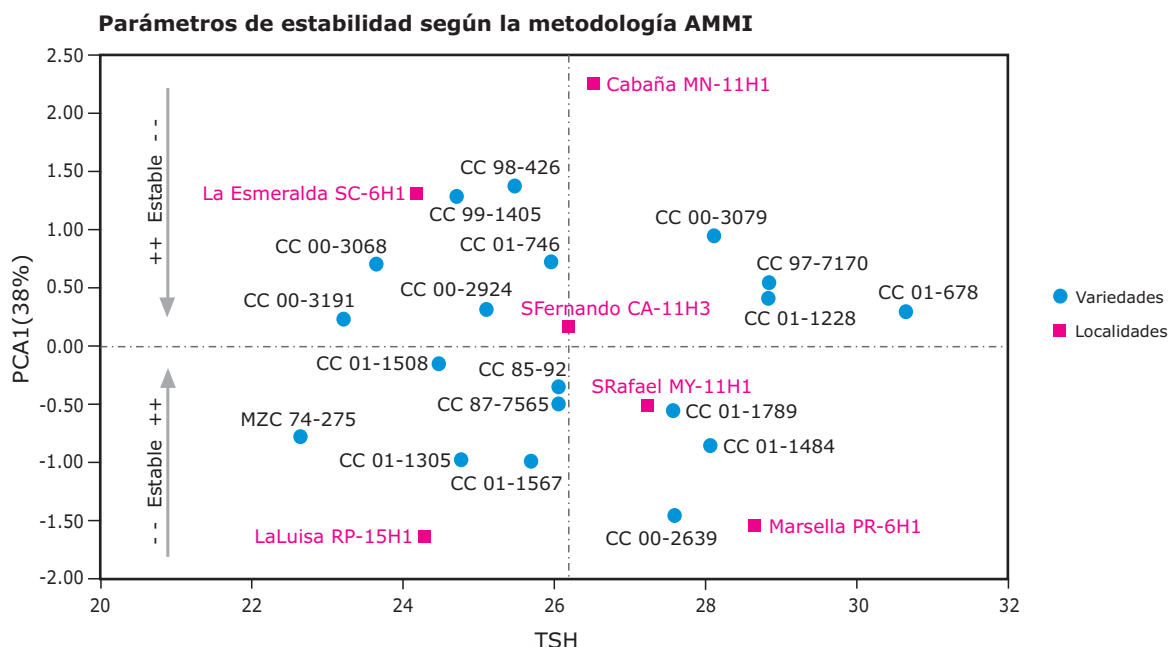


Figura 9. Análisis de estabilidad para TSH en seis localidades mediante la metodología AMMI. Prueba regional en zonas semisecas, series 97 a 01 (plantilla).



Comité de Variedades en septiembre de 2008 en el Ingenio Mayagüez. De izquierda a derecha: Camilo Jaramillo (Ingenio María Luisa), Jorge Pantoja (Mayagüez), Angie Franco (Cenicaña), Luis Eduardo Cuervo (Incauca), Jairo Nova (Incauca), Luis Orlando López (Cenicaña), Jorge Victoria (Cenicaña), Jorge Arcila (La Cabaña), Ricardo Franco (Mayagüez), Waldemar Tique (La Cabaña), Álvaro Amaya (Cenicaña), Jaime Gómez (Manuelita), Alberto Palma (Cenicaña), Alfonso Rojas (Incauca), Clímaco Cassalett (Asesor), Juan Carlos Angel (Cenicaña), Ramiro Besosa (Providencia), Luis Hernández (Riopaila Castilla), Andrés Mondragón (La Cabaña), Alejandro Durán (Pichichi), Rodrigo Villegas (Oriente S.A.) y Carlos Arturo Viveros (Cenicaña).

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido para la realización de los experimentos por parte de los jefes de agronomía de los ingenios: Luis Eduardo Cuervo (Incauca), Jaime Gómez y Yuri Peralta (Manuelita), Javier Bohórquez (Mayagüez), Ramiro Besosa (Providencia), Luis Hernández (Riopaila Castilla) y Luna Paola Andrade (Sancarlos). Así mismo agradece a los prácticos de campo de Cenicaña: Jaime Calero, Daniel Lenis, Carlos Nieto y Carlos Soto.

Referencias bibliográficas

- Eberharth, S.A. and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. En Crop Sci. 6:36-40
- Gauch, H. and R. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M. S. Kang y H.G. Gauch (eds.) Genotype-by-environment interaction. CRC Press, pp. 85-122

Observaciones concretas
relacionadas con los
procesos de investigación
en marcha

Importancia de la 23
fuente de nitrógeno
sobre la producción
y nutrición de la
caña de azúcar en
suelos con excesos
de humedad

Evaluación preliminar 28
de los esfuerzos
inducidos en el suelo
por los equipos de
cosecha y transporte
de caña de azúcar

Evaluación del 34
comportamiento
estructural de
conexiones soldadas
en vagones utilizados
para el transporte
de caña

Correspondencia entre el tonelaje de las nuevas variedades en las pruebas regionales y las suertes comerciales

Alberto Palma Z.; Carlos A. Viveros V.; Jorge Ignacio Victoria K.*

Introducción

Los cultivadores de caña de azúcar del valle del río Cauca han manifestado con frecuencia su interés por conocer la productividad esperada de las nuevas variedades de caña a escala comercial a partir de los resultados en las pruebas regionales. Precisar esta información es importante porque es un elemento de decisión que siempre tienen en cuenta los cultivadores para la adopción de las nuevas variedades.

Entre los factores que influyen en las diferencias de los resultados de TCH (toneladas de caña por hectárea) de las variedades en las pruebas regionales y en cultivos comerciales se encuentran el tamaño y el diseño de la parcela experimental, debido fundamentalmente al efecto de borde. En general, los diseños y tamaños utilizados discriminan los resultados de TCH de las variedades que se están comparando; la diferencia radica en qué tan cercano o alejado está el resultado experimental del comercial y en la sensibilidad para detectar diferencias estadísticas.

El presente análisis tiene como objetivos cuantificar las diferencias en TCH entre los resultados experimentales y los comerciales según el tamaño y diseño de la parcela experimental, cuantificar el efecto *área borde* sobre las TCH y estimar la contribución de los factores variedad, zona agroecológica y origen de los datos en la explicación de estas diferencias.

Materiales y métodos

Los datos comerciales utilizados corresponden a los resultados de las suertes cosechadas en el periodo 1990-2007 en área superior a dos hectáreas, en aquellas zonas agroecológicas donde se sembraron las diferentes pruebas regionales.

Para las pruebas regionales se utilizaron datos a partir de 1987, año en el que se empezaron a sembrar en pruebas regionales las variedades Cenicaña Colombia (CC). Se consideraron tres grupos de series de experimentos: Serie 82-87, 88-91 y 92-95. Esta separación se hizo debido a que cada uno tuvo un diseño de campo y un tamaño diferente, así: el grupo de serie 82-87 tuvo cuatro repeticiones y parcelas de seis surcos, con un área de 90 m² y dos surcos libres entre unidades experimentales; el área de las parcelas de la serie 88-91 estuvo entre 180 m² y 210 m² con cuatro repeticiones, seis surcos por parcela y sin espacio entre ellas; y el grupo de la serie 92-95 tuvo tres repeticiones, un área de parcela entre 750 m² y 1250 m², seis surcos por parcela, sin separación entre ellas y longitud igual al largo del tablón (100-120 m) (Figura 1).

Para mejorar el nivel de las comparaciones de TCH, el análisis se hizo teniendo en cuenta solamente datos de plantillas tanto en pruebas regionales como en cultivos comerciales.

Los factores considerados en el análisis fueron: origen de los datos (cuatro grupos: comercial y los tres grupos de series de experimentos), variedades (45 en total) y zonas agroecológicas (22 zonas).

Con base en los datos se estimaron el promedio y la varianza para cada variedad en cada zona agroecológica para los resultados comerciales y para cada serie de experimentos.

* Respectivamente: Matemático, M.Sc., Biometrista <aepalma@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Fitomejorador <caviveros@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Director del Programa de Variedades <jvictoria@cenicana.org>. Todos de Cenicaña.

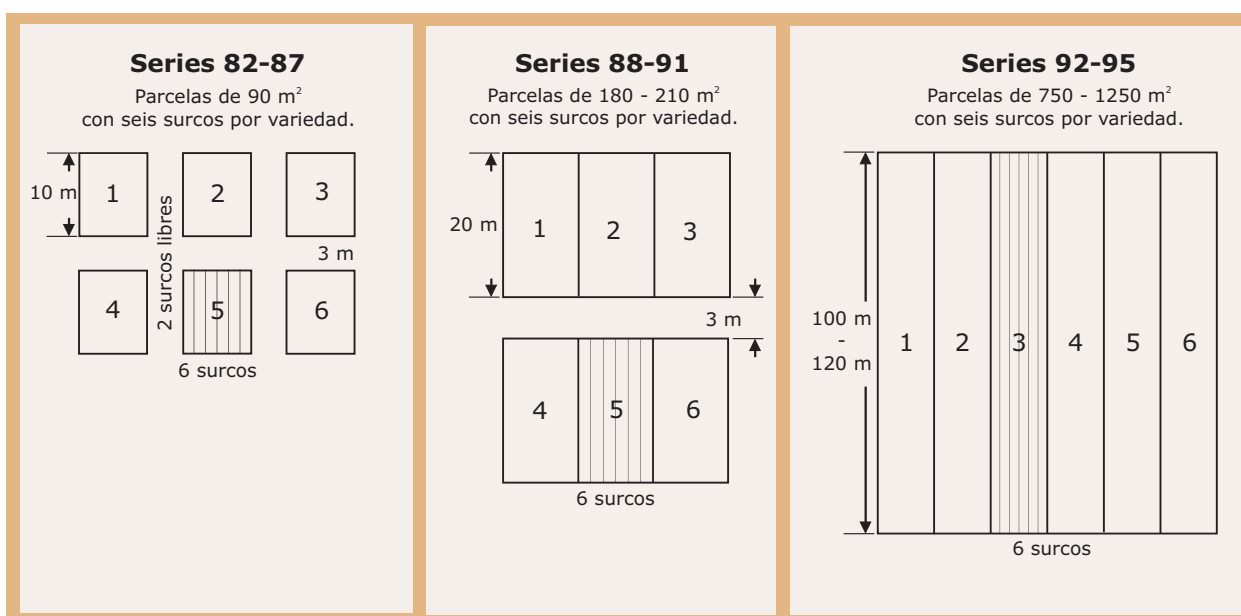


Figura 1. Diseños de campo utilizados para la siembra de las pruebas regionales en cada una de las series de experimentos.

El modelo lineal para determinar el efecto de los factores sobre las variaciones de TCH entre los resultados comerciales y las pruebas regionales fue el siguiente (Graybill, 1976; SAS, 1991):

$$\text{TCH} = \text{promedio} + \text{zona agroecológica} + \text{variedad} + \text{origen de los datos} + \text{Error}$$

El modelo para la variable 'porcentaje de diferencia entre experimental y comercial' fue el mismo que para TCH, pero no se tiene en cuenta el origen comercial ya que es el utilizado para hallar el porcentaje. La fórmula es la siguiente:

$$\% \text{ de diferencia} = \frac{(\text{TCH comercial} - \text{TCH experimental}) \times 100}{\text{TCH comercial}}$$

Resultados y discusión

Los resultados del análisis mostraron que el mayor tonelaje correspondió a la serie 82-87 (TCH=190) y el menor valor a la serie 92-95 (TCH=131); este último es el valor más cercano al valor comercial (TCH=126) (Cuadro 1). Además, en la prueba de comparación múltiple (Tukey 5%) se diferenciaron todos los grupos con el promedio comercial, excepto el de la serie 92-95. Estos resultados están indicando que a menor tamaño de parcela, mayor es la diferencia entre los resultados de las variedades en las pruebas regionales y los datos comerciales, con diferencias que van de 64 TCH con la serie 82-87 a 5 TCH con la serie 92-95. Este comportamiento es debido al efecto de borde.

Al estimar las diferencias porcentuales en TCH de las nuevas variedades en pruebas regionales con las mismas en lotes comerciales se obtuvo que la mayor diferencia porcentual correspondió a la serie 82-87 con un intervalo de confianza del 95% de -34%, -28%; seguido por la serie 88-91 con un intervalo de -23%, -11%; y, con el menor, valor la serie 92-95 con un intervalo de -3%, 10%. El signo negativo significa que el tonelaje de las pruebas regionales es mayor que el de los resultados comerciales. Al realizar la comparación de los promedios de estas diferencias porcentuales se da una separación clara entre las tres series (Tukey 5%) (Cuadro 1).

En el Cuadro 2 se pueden observar los porcentajes de borde para cada diseño y tamaño de parcela. La serie 82-87 es la de mayor porcentaje de borde (116%) en relación con el área de la parcela experimental; la de menor valor es la serie 92-95 (22%). Con base en estos resultados de los porcentajes de borde para cada serie se pudo deducir que por cada 1% de incremento en área borde el aumento de la diferencia en tonelaje es de 0.6 TCH.

Al estimar la distribución porcentual de la variación explicada para los factores utilizados en el modelo lineal planteado se observa que el factor que más contribuye a las variaciones de TCH es el origen de los datos (con el 67%), es decir, los diferentes tipos de diseño y tamaños de parcelas son los que más están afectando el resultado de las TCH, independientemente del sitio y de la variedad; en otras palabras, lo que más contribuye en las variaciones de TCH es el efecto de borde (Cuadro 3).

Cuadro 1. Comparación de promedios para TCH y diferencia (%) entre TCH de pruebas regionales y resultados comerciales.

Variable		Comercial	Series 82-87	Series 88-91	Series 92-95
TCH	Promedio	126 c*	190 a	151 b	131 c
	Desviación estándar	25	26	17	11
	Mínimo	66	71	84	78
	Máximo	179	313	186	163
Diferencia % en TCH	Promedio	-	-30 a	-17 b	4 c
	Intervalo 95% de confianza	-	(-34%, -28%)	(-23%, -11%)	(-3%, 10%)
Número de datos		165	126	29	36

* Promedios con igual letra no difieren estadísticamente (Tukey, 5%).

Cuadro 2. Área borde para cada serie de experimentos y su porcentaje respecto al área de la parcela.

Series	Área parcela (m ²)	Área borde		TCH	Diferencia en TCH respecto al comercial
		(m ²)	(%)		
82 a 87	90	104	116	190	64
88 a 91	190 a 210	79	41	151	25
92 a 95	750 a 1250	217	22	131	5
DMS* (5%) Tukey	-	-	-	12.5	-

* DMS: Diferencia mínima significativa.

Cuadro 3. Contribución de los factores en la variación de las TCH.

Factor	TCH (%)
Zona agroecológica	16
Variedad	17
Origen de los datos	67

Conclusiones

1. El valor de las TCH en las pruebas regionales es afectado por el diseño y el tamaño de la parcela experimental. En aquellas parcelas con área de 90 m² (serie 81-87) la diferencia en TCH fue de 30% con respecto al promedio comercial de TCH. En las parcelas de 180-210 m² (serie 88-91) la diferencia fue de 17% y en las parcelas de 750-1250 m² (serie 92-95) la diferencia fue de 4%.
2. El factor que más afecta las variaciones de las TCH es la procedencia de los datos, es decir, si provienen de lotes comerciales o de parcelas experimentales de pruebas regionales.

3. La cuantificación del efecto de borde dio que por cada 1% de área de borde la diferencia del tonelaje se puede llegar a incrementar en 0.6 TCH.
4. Es importante evaluar el efecto del tamaño y el diseño de las parcelas utilizadas en las pruebas regionales en la precisión de los resultados y la confiabilidad de las comparaciones.

Referencias bibliográficas

- Graybill, F. 1976. Theory and application of the linear model. Wadsworth publishing Co. North Scituate, Massachusetts.
- SAS Institute Inc., SAS[®] System for linear model, Third Editions, Cary, NC: SAS Institute Inc., 1991. 329 p.

Importancia de la fuente de nitrógeno sobre la producción y nutrición de la caña de azúcar en suelos con excesos de humedad

Fernando Muñoz A.* y Rafael Quintero D.**

Introducción

En el norte y el sur del valle del río Cauca predominan condiciones de humedad excesiva en los suelos, por lo cual es muy importante usar la fuente apropiada de nitrógeno (N) que garantice una alta eficiencia de la fertilización. Existen varias fuentes de nitrógeno disponibles para la fertilización de la caña de azúcar y la urea es la más utilizada por precio y contenido de N, aunque no siempre es la más apropiada. La eficiencia de los fertilizantes nitrogenados depende de las condiciones edáficas y climáticas que predominen durante la época de aplicación; esto significa que usar la misma fuente que dio buenos resultados en el pasado no necesariamente es una garantía en aplicaciones posteriores.

El N que toman las plantas proviene de la mineralización del N orgánico presente en los diferentes compuestos nitrogenados derivados de la materia orgánica del suelo y del fertilizante que se aplica. Las plantas normalmente toman el N en dos formas: amoniacal (NH_4^+) y nítrica (NO_3^-); pero la proporción óptima $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ depende de la especie y del estado de desarrollo de las plantas (Taghavi *et al*, 2004). En forma general, se ha encontrado que las plantas requieren una relación de 70:30, que es equivalente a 70 partes de NO_3^- por cada 30 partes de NH_4^+ (Martin *et al*, 2006). Los factores edáficos como la humedad, el pH y la textura del suelo afectan la tasa de nitrificación y por lo tanto la proporción de NO_3^- y NH_4^+ presente en el suelo en un momento dado. En suelos con baja infiltración, mal drenados, de pH ácido y textura fina se inhibe la nitrificación y por consiguiente la forma amoniacal (NH_4^+) predomina en la solución del suelo (Havlin *et al*, 1999).

La región del suelo adyacente a la superficie de las raíces es conocida como rizosfera y constituye una zona de transición entre el suelo y la superficie de las raíces. En esta zona se concentran las sustancias orgánicas secretadas por la raíz (iones, proteínas, azúcares y ácidos orgánicos). Las plantas absorben los nutrientes en forma de cationes (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) y aniones (NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , Cl^-), y la proporción de aniones a cationes determina el pH de la rizosfera. Para mantener el equilibrio electrónico,

la raíz expulsa hacia la rizosfera un ión de hidrógeno (H^+) por cada catión absorbido; de la misma manera, cuando la raíz absorbe un anión expulsa un ión bicarbonato (HCO_3^-) (Cunningham, 1964).

Cuando se aplica urea en un suelo con exceso de humedad, el N ureico pasa a la forma amoniacal en un tiempo relativamente corto pero se restringe el paso de N amoniacal a N nítrico porque la nitrificación (conversión de NH_4^+ a NO_3^-) es realizada por bacterias aeróbicas presentes en los suelos. En suelos de pH neutro se han reportado disminuciones de hasta dos unidades de pH en la rizosfera por efecto del exceso de iones H^+ expulsados como compensación por la absorción de NH_4^+ (Miller *et al*, 1970; Smiley, 1974; Sarkar y Wyn Jones, 1982). Al tornarse ácido el pH de la rizosfera, la disponibilidad de los micronutrientes se incrementa y se presenta la posibilidad de fitotoxicidad por la mayor disponibilidad de Mn, Fe y Al, en su orden. En suelos con alta disponibilidad de Mn, éste se vuelve tóxico cuando el pH es menor que 6, valor al cual el Al aún está insoluble (Hue *et al*, 1987). Se han reportado incrementos en el contenido de Mn disponible en el suelo de hasta 100 veces por cada unidad que disminuya el pH (Hue *et al*, 2001). Otros factores, como las aplicaciones de materiales orgánicos, pueden causar toxicidad por Mn aún a pH alcalino debido a que algunos compuestos orgánicos pueden incrementar la solubilización del Mn (Hue, 1988).

A pesar de que la caña de azúcar ha sido reportada como tolerante al exceso de Mn disponible en el suelo (CTAHR, 1998), el efecto combinado de la falta de aireación en el suelo (condiciones reductoras), la disponibilidad excesiva de N amoniacal (por baja nitrificación), la toxicidad por elementos menores y el uso de una fuente de N no apropiada para las condiciones edáficas y ambientales, pueden reducir de manera significativa la producción de caña y sacarosa. Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se planteó un experimento en donde se aplicaron dos fuentes nitrogenadas, urea (46% N) y NAL (nitrato de amonio líquido, 10.5% N-amoniacal y 10.5% N-nítrico), para observar su efecto en la producción de la caña de azúcar en condiciones de suelos con exceso de humedad.

* Ingeniero Agrónomo, Ph.D.; Edafólogo de Cenicaña <fmunoz@cenicana.org>

** Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

El nitrógeno que toman las plantas proviene de la mineralización del nitrógeno orgánico presente en los diferentes compuestos nitrogenados derivados de la materia orgánica del suelo y del fertilizante que se aplica. Las plantas normalmente toman el nitrógeno en dos formas: amoniacal (NH_4^+) y nítrica (NO_3^-). La proporción óptima $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ depende de la especie y del estado de desarrollo de las plantas.

Metodología

El experimento se estableció en el ingenio Riopaila, hacienda Valparaíso, suerte 23, zona agroecológica 5H3, suelo Nuevo Pichichí (NP) clasificado como Typic Haplusterts, familia textural muy fina. Este suelo presenta permeabilidad muy baja, pH de 6.2 y materia orgánica de 2.6% en promedio. La variedad de caña sembrada fue la CC 85-92. El experimento se estableció usando dos fuentes de N (urea y NAL) y cinco dosis en la plantilla: 0, 50, 100, 150 y 200 kg ha^{-1} de N. En la soca se incrementaron las dosis en 50 kg ha^{-1} por tratamiento. El tamaño de las parcelas fue de 12 surcos de 10 m separados a 1.75 m (210 m^2). La urea contiene 46% de N amónico y el NAL contiene 21% de N total dividido en 50% N nítrico y 50% N amoniacal. El N se aplicó en banda o dirigido a la base de la cepa a los 45 días después de la siembra o el corte. Debido a los contenidos adecuados en el suelo de P (14.2 mg kg^{-1}) y K (0.84 cmol kg^{-1}) no fueron necesarias las aplicaciones de estos nutrimentos.

A los 90, los 145 y los 180 días después de la siembra o el corte se tomaron muestras de tejido foliar para conocer el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn. Dos semanas antes de la cosecha se tomaron muestras de caña de cada parcela y se les realizó análisis de calidad de los jugos. Al momento de la cosecha se pesaron los seis surcos centrales de cada parcela para estimar las variables de productividad de cada tratamiento. A cada uno de los dos conjuntos de datos recolectados (plantilla y soca) se les realizó un análisis de correlación y de varianza.

Resultados

En la plantilla se observaron diferencias en el contenido de N, P y Cu foliar a los tres meses debido a las dosis de N aplicadas, presentándose contenidos significativamente menores con las dosis más bajas (0 y 50 kg ha^{-1} de N), lo cual sugiere que en las condiciones mencionadas una dosis de 100 kg ha^{-1} de N sería adecuada para lograr una buena nutrición del cultivo. La dosis de 100 kg/ha de N como NAL produjo los valores más altos en toneladas de caña y azúcar por hectárea (TCH y TAH) (Figura 1). Los tratamientos con NAL produjeron 128 TCH mientras que con la urea se obtuvieron 107 TCH; la diferencia fue significativa al 6%. En términos de TAH, el NAL produjo 16.2 TAH, mientras que las parcelas fertilizadas con urea produjeron 14.6 TAH; la diferencia fue significativa al 5%. Estos resultados demuestran que el NAL fue más eficiente que la urea en las condiciones edáficas y climáticas que se presentaron durante la plantilla.

Durante la primera soca no se observaron diferencias significativas en TCH ni TAH por efecto de los tratamientos estudiados. Se presentó una disminución generalizada de TCH y TAH con respecto a la plantilla. La reducción de las TCH y las TAH y la no diferenciación en la respuesta al NAL y a la urea durante la primera soca (Figura 1) sugirieron que hubo un factor adicional que no estuvo presente durante la plantilla pero que se manifestó durante la primera soca. Para buscar la causa de la reducción de la productividad en la primera soca se hizo un análisis de correlación de todo el conjunto de variables recolectadas durante la primera soca y se encontró una correlación negativa y altamente significativa entre el contenido de Mn foliar a los 6 meses y la producción, las TCH (-0.72, $p < 0.0001$) y las TAH (-0.64, $p < 0.0001$), lo cual sugiere la ocurrencia de toxicidad por Mn como una de las causas posibles de la disminución de la productividad. La relación entre Mn foliar a los 6 meses *versus* TCH y TAH fue descrita por una regresión lineal significativa (Figura 2).

La disponibilidad de Mn en el suelo puede cambiar de un periodo de cultivo al siguiente, según las condiciones ambientales y edáficas. Al comparar la distribución de la precipitación ocurrida durante la plantilla y la primera soca (Figura 3), la mayor precipitación durante la primera soca, entre los 120 y 180 días después del corte, pudo incrementar la solubilidad del Mn debido a la presencia de condiciones de reducción causadas por el mal drenaje (Krishnamurti y Huang, 1992). La ocurrencia de estos eventos durante el desarrollo de la primera soca posiblemente causó incremento en la absorción de Mn por parte del cultivo con la consecuente disminución de la productividad.

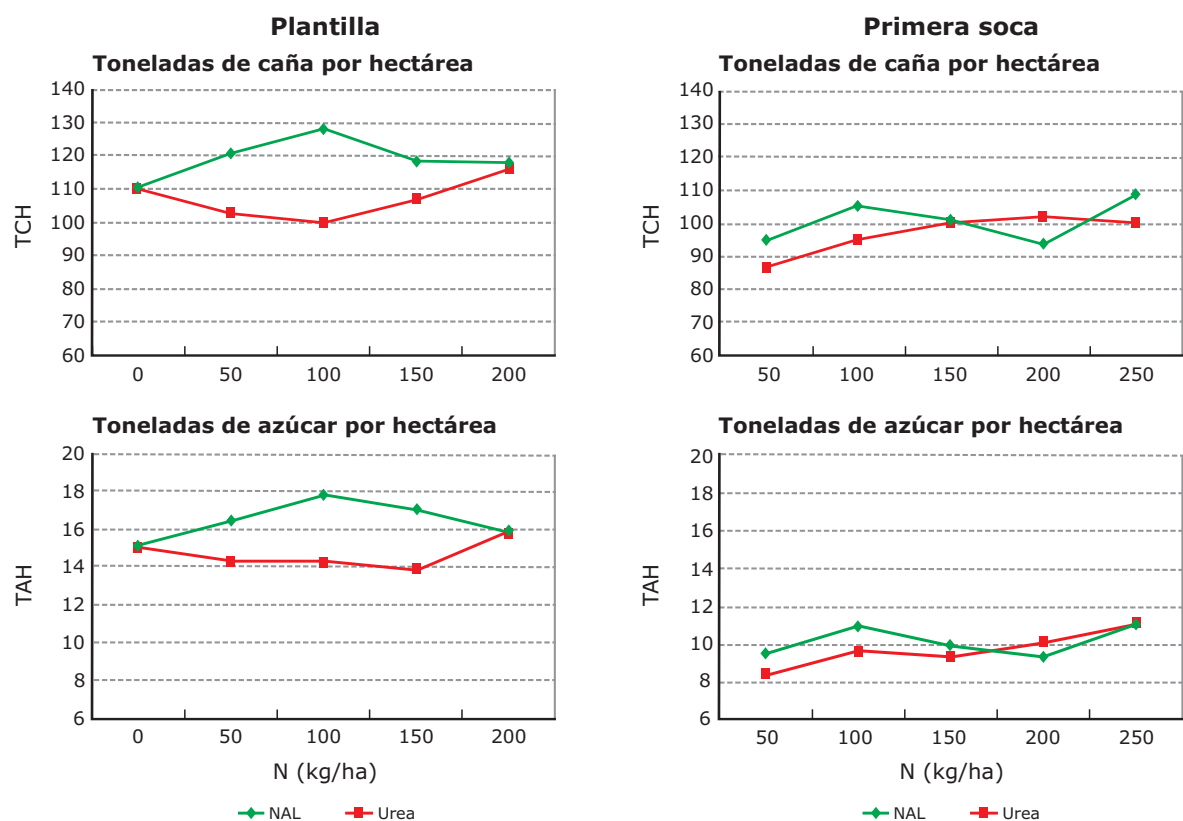


Figura 1. Resultados de productividad en plantilla y primera soca de la variedad CC 85-92 fertilizada con urea y NAL en un suelo Nuevo Pichichí (Typic Haplusterts), zona agroecológica 5H3.

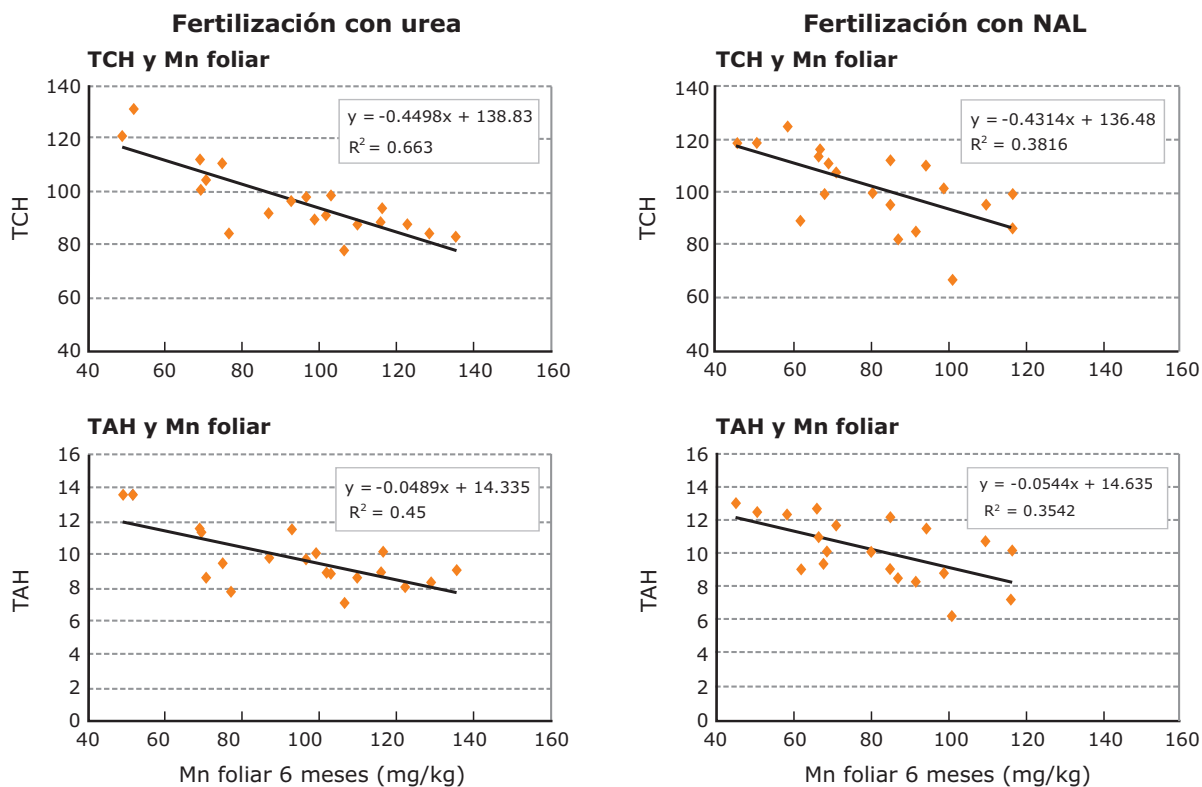


Figura 2. Regresiones lineales entre Mn foliar a los 180 días después del corte de la primera soca de la variedad CC 85-92 fertilizada con NAL y urea en un suelo Nuevo Pichichí (Typic Haplusters), zona agroecológica 5H3.

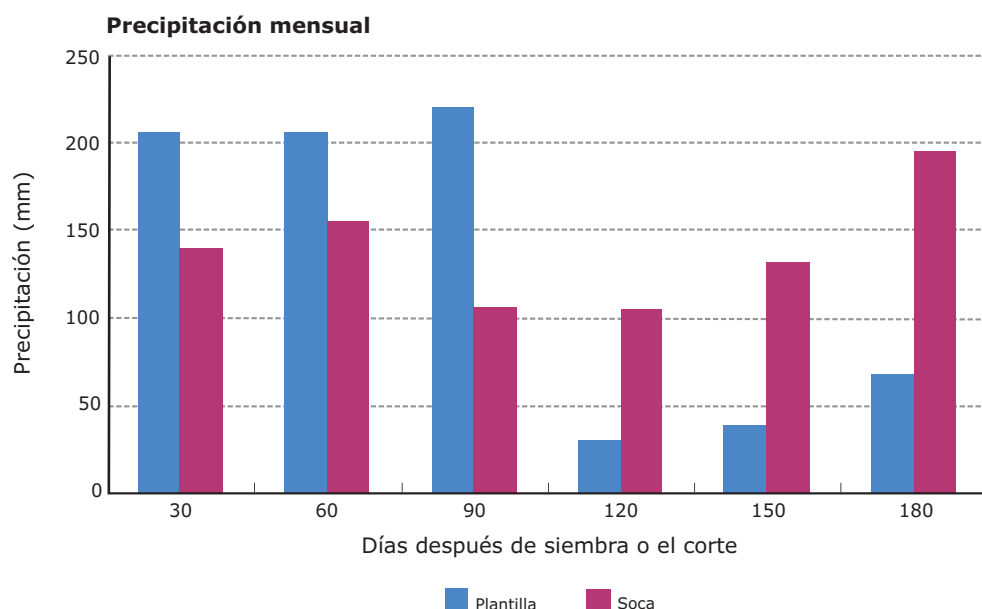


Figura 3. Precipitación mensual ocurrida durante los primeros 180 días después de la siembra y el corte del ensayo de fuentes de N en un suelo Nuevo Pichichí (Typic Haplusterts) en la zona agroecológica 5H3.

En la primera soca se observó que en las parcelas fertilizadas con urea el coeficiente de determinación (R^2) de la regresión lineal entre Mn foliar a los 180 días, TCH y TAH, fue mayor que el de las parcelas fertilizadas con nitrato de amonio líquido (Figura 1). Este hecho sugiere que hubo mayor acidificación de la rizosfera debido a que las plantas tomaron el N en forma amoniacal, lo que probablemente ocurrió en las parcelas fertilizadas con urea cuando el amonio producido por la hidrólisis de la urea no fue nitrificado debido a la dominancia de condiciones anaeróbicas que restringieron la acción de las bacterias nitrificantes.

Para determinar la distribución espacial de la concentración del Mn foliar y su concordancia con la distribución espacial de las TCH en el área experimental durante la primera soca, se hicieron mapas geoestadísticos de Mn foliar (Figura 4) y TCH (Figura 5). En los mapas se puede observar que las

áreas con mayor contenido de Mn foliar concuerdan con las de menor TCH y viceversa, lo que corrobora la hipótesis de la toxicidad por Mn. Además se observó que las áreas del experimento con menor contenido de Mn foliar y por lo tanto con mayor TCH estuvieron localizadas cerca de un canal de drenaje profundo, hecho que demuestra la importancia de un sistema de drenaje eficiente.

Los resultados de este estudio permiten concluir que para optimizar la productividad de la caña de azúcar en suelos que presenten condiciones de baja infiltración, mal drenados, de pH ácido y de textura fina, se debe contar con un sistema de drenaje eficiente y llevar a cabo programas de fertilización que incluyan N en forma nítrica y aplicado en la dosis adecuada. Se proyecta realizar un estudio más detallado para esclarecer el efecto tóxico del Mn sobre la producción de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

A pesar de que la caña de azúcar ha sido reportada como tolerante al exceso de manganeso disponible en el suelo (CTAHR, 1998), el efecto combinado de la falta de aireación en el suelo (condiciones reductoras), la disponibilidad excesiva de nitrógeno amoniacal (por baja nitrificación), la toxicidad por elementos menores y el uso de una fuente de nitrógeno no apropiada para las condiciones edáficas y ambientales pueden reducir de manera significativa la producción de caña y sacarosa.

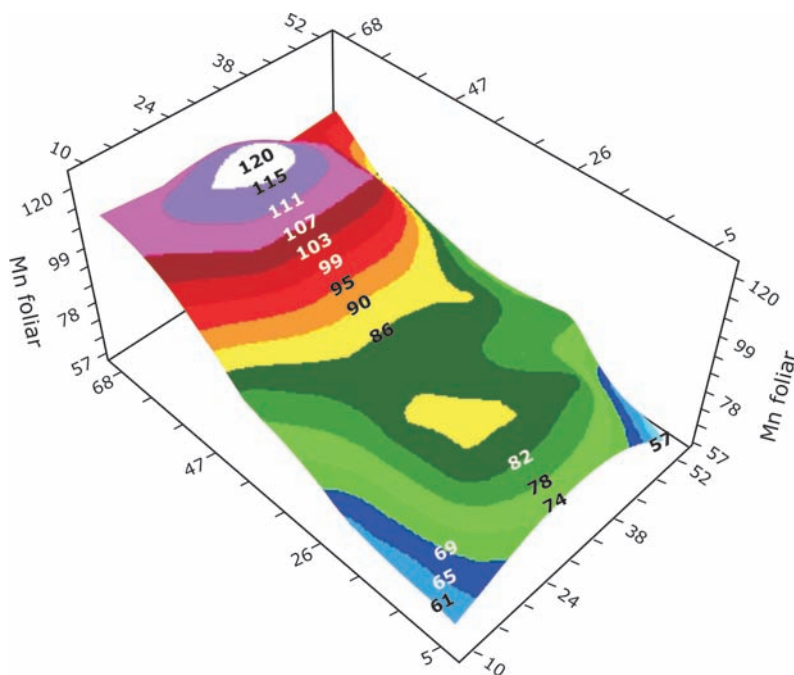


Figura 4. Distribución espacial del Mn foliar en la primera soca de la variedad CC 85-92 a los 180 días después del corte.

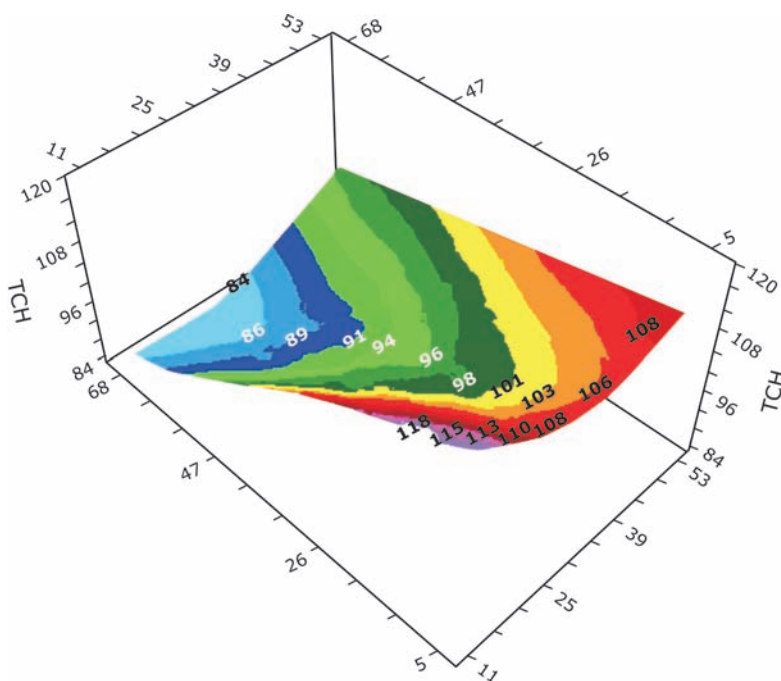


Figura 5. Distribución espacial de las TCH en la primera soca de la variedad CC 85-92 en suelo Nuevo Pichichí (Typic Haplusters), zona agroecológica 5H3.

Referencias bibliográficas

- CTAHR (College of Tropical Agriculture & Human Resources). University of Hawaii. 1998. Managing manganese toxicity in former sugarcane soil in Oahu. Soil Crop and Management. SCM.1. 7 p.
- Cunningham, R.K. 1964. Cation-anion relationships in crop nutrition: III Relationships between the ratios of sum of cations: sum of the anions and nitrogen concentrations in several species. Journal of Agricultural Sciences. 63, 109-111.
- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. y Nelson W.L. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Sixth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 499 p.
- Hue, N.V.; Fox, R.L. y McCall, W.W. 1987. Aluminum, Ca, and Mn concentrations in macadamia seedlings as affected by soil acidity and liming. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 18, 1253-1267.
- Hue, N.V. 1988. A possible mechanism for manganese toxicity in Hawaii soils amended with low-Mn sewage sludge. Journal of Environmental Quality. 17, 473-479.
- Hue, N.V.; Vega, S. y Silva, J.A. 2001. Manganese toxicity in a Hawaiian oxisol affected by soil pH and organic amendments. Soil Science Society of America Journal. 65, 153-160.
- Krishnamurti, G.S.R. y Huang, P.M. 1992. Dynamics of potassium chloride induced manganese release in different soil orders. Soil Science Society of America Journal. 56, 1115-1123.
- Martin, I.; Alonso, N.; López, M.C.; Prieto, M.; Cadahia, C. y Eymar, E. 2006. Nitrogen fertilization using hydroponic cultures to fertigate ornamental Shrubs. Journal of Plant Nutrition. 29, 1-23.
- Miller, M.H.; Mamaril, C.P. y Blair, G.J. 1970. Ammonium effects on phosphorus absorption through pH changes and phosphorus precipitation, at the soil-root interface. Journal of Agronomy 62, 524-527.
- Sarkar, A.N. y Wyn Jones, R.G. 1982. Influence of rhizosphere on the nutrient status of dwarf French beans. Plant and Soil, 64, 369-380.
- Smiley, R.W. 1974. Rhizosphere pH as influenced by plant soils and nitrogen fertilizer. Soil Science Society of America Proc. 38, 795-799.
- Taghavi, T.S.; Mesbah-Babalar; Ali-Ebadi; Hasan-Ebrahimzadeh; Asgari, M.A. 2004. Effects of nitrate to ammonium ratio on yield and nitrogen metabolism of strawberry (Fragaria x ananassa cv. Selva). Internacional Journal of Agriculture and Biology. 6, 994-997.

Evaluación preliminar de los esfuerzos inducidos en el suelo por los equipos de cosecha y transporte de caña de azúcar

Luis Arnoby Rodríguez, Jaime Alberto Urbano, Jorge Torres*



Medición de esfuerzos en el suelo utilizando el Cenisensor.

Introducción

La compactación del suelo durante la cosecha es uno de los mayores problemas que afronta el cultivo de la caña, especialmente cuando la labor se efectúa en épocas húmedas. El peso de los equipos y los correspondientes esfuerzos causados afectan la condición del suelo, el desarrollo del cultivo y la producción. La compactación de los suelos agrícolas resulta en un incremento de su densidad y es una consecuencia directa de los esfuerzos que ejercen las máquinas en su tránsito sobre el campo. Además de los daños al suelo por compactación, el tránsito de las máquinas y equipos origina daños por deformación de la superficie del suelo y pisoteo directo al cultivo que pueden resultar en disminuciones de la producción de caña por hectárea hasta de 42% en las áreas afectadas por el tráfico (Torres y Villegas, 1993).

Regularmente, la compactación se evalúa a través de las propiedades físicas del suelo como: densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración y permeabilidad. Otra alternativa es la medición de los esfuerzos por medio de sensores que se colocan dentro de la masa de suelo a la profundidad deseada y bajo la ruta de las llantas. Los sensores realizan un registro absoluto e instantáneo de la magnitud de los esfuerzos causados al paso de las máquinas, y dichos registros constituyen un buen indicador de la magnitud de la compactación inducida. Se considera que las propiedades físicas del suelo se afectan adversamente cuando los esfuerzos de contacto son superiores a 200 kPa. En determinaciones realizadas en Cuba, González y Rodríguez (2002) encontraron que en el transporte de caña los esfuerzos son superiores a 300 kPa y pueden llegar a 500 kPa.

El presente trabajo hace parte del proyecto “Evaluación de la compactación causada por los equipos de cosecha y transporte de caña” y se realizó con el objetivo de cuantificar de manera preliminar los esfuerzos y la compactación causados por los vagones HD 20000 y los vagones de autovolteo durante la cosecha mecánica.

* Respectivamente: Ingeniero Mecánico, Ph.D., Asesor en Mecanización Agrícola <larodriguez@cenicana.org>; Ingeniero Agrícola, Investigador Temporal en Mecanización Agrícola <jaurbano@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Director del Programa de Agronomía <jtorres@cenicana.org>. Todos de Cenicaña.

Metodología

La evaluación se llevó a cabo en un suelo Manuelita (Fluventic Haplustolls) de familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0, suerte 4 de la hacienda San José Garcés del Ingenio Providencia, localizada en el municipio de Buga, Valle del Cauca.

Durante la cosecha mecánica la cosechadora y el vagón transitan dos veces por el mismo entresurco, motivo por el cual se realizaron mediciones antes de iniciar el proceso de cosecha y después del segundo pase de cada máquina o equipo por los entresurcos seleccionados en el campo. Para la medición de los esfuerzos y la compactación inducida por cada equipo se siguió el siguiente procedimiento:

1. Muestreo previo a la cosecha para determinar el contenido de humedad del suelo a las profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm. Se realizó en un entresurco seleccionado en el campo por cosechar.
2. En el mismo entresurco, medición de la resistencia a la penetración con un penetrógrafo de cono antes del primer pase de la cosechadora. El penetrógrafo de cono (Figura 1) registra, sobre una plantilla de papel, la resistencia que presenta el suelo a la penetración de una varilla con punta de cono estandarizado de 30° y 12.7 mm de diámetro de base. Las mediciones se realizaron cada 20 cm a lo ancho del entresurco y con intervalos de 10 cm hasta 70 cm de profundidad para obtener así una matriz de datos que reflejara el comportamiento del suelo debajo de la huella de la llanta al paso de los equipos sobre la superficie.
3. Cosecha de los dos surcos aledaños al entresurco.
4. Medición de la resistencia a la penetración en el entresurco, con el penetrógrafo, después del segundo pase de la cosechadora.
5. Paso del conjunto tractor-vagón cargado con caña y medición de los esfuerzos a 10 cm de profundidad en el entresurco utilizando el sensor desarrollado por Cenicaña (Cenisensor). Éste es un dispositivo hidráulico (Figura 1) que se inserta a la profundidad deseada en el entresurco de prueba. La presión interior del sistema aumenta a medida que el sensor es pisado o presionado en su cara superior; un transductor de presión y un *datalogger* permiten el registro de los esfuerzos causados a dicha profundidad por efecto del tráfico de cargas en la superficie.
6. Medición de la resistencia a la penetración después del pase del conjunto tractor-vagón.

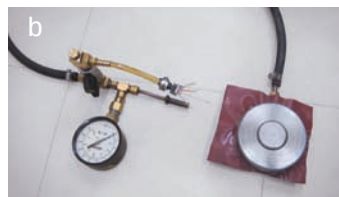


Figura 1. Instrumentación utilizada para la evaluación de la compactación de suelos: (a) Medición de resistencia a la penetración con penetrógrafo de cono, (b) Cenisensor y (c) Medición de esfuerzos.

La cosecha y la prueba se efectuaron con los siguientes equipos:

- | | |
|----------------------|--|
| Cosechadora: | • Cameco CHT3500, rodamiento sobre orugas, peso: 17.5 t. |
| Vagón de autovolteo: | • Volumen: 25 m ³ , capacidad: 9.5 t con caña picada, peso propio: 7.6 t
• Dos ejes y punto de apoyo en la barra de tiro del tractor.
• Llantas: 600/50-22.5, presión de inflado: 317 kPa (46 psi). |
| Vagón HD 20000: | • Volumen: 60 m ³ , capacidad: 22 t con caña picada, peso propio: 12.8 t
• Tres ejes, llantas: 560/80D26, presión de inflado: 262 kPa (38 psi). |
| Tractores: | • Case IH 9130. Articulados, peso: 9.6 t, llantas: 23.1-32 |

Resultados

Contenido de humedad del suelo

La resistencia a la penetración es una medida indirecta del grado de compactación de un suelo y está relacionada con el contenido de humedad. Un suelo húmedo normalmente presenta valores bajos de resistencia a la penetración debido a su menor dureza y, de manera opuesta, un suelo seco presenta una mayor resistencia a la penetración. En la Figura 2 se muestra el contenido de humedad en el perfil del suelo al momento de las pruebas; el contenido de humedad fue alto como resultado de las precipitaciones ocurridas en los días previos a la cosecha.

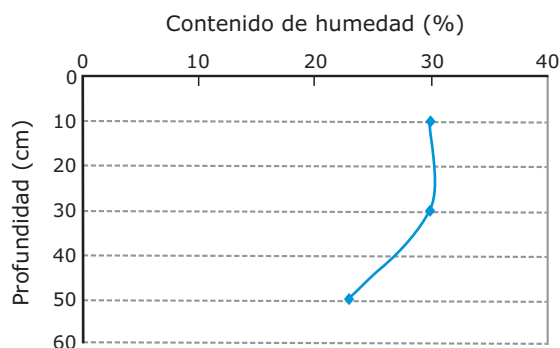


Figura 2. Variación del contenido de humedad del suelo en el lote de prueba, suerte 4 de la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia. Suelo Manuelita, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0.

Esfuerzos dentro de la masa de suelo

La variación de los esfuerzos en función del tiempo al paso del conjunto tractor-vagón de autovolteo se muestra en la Figura 3. Los mayores valores coinciden con el paso de los ejes de los equipos. El tractor Case IH 9130, con peso aproximado de 10 t, diseño articulado y llantas 23.1x32, distribuye el 60% de su peso sobre el eje delantero y el 40% sobre el eje trasero. Esta máquina causó esfuerzos sobre el suelo a 10 cm de profundidad de 260 kPa al paso del eje delantero y de 160 kPa al paso del eje trasero. El vagón de autovolteo, por su diseño y por la posición de los ejes, transfiere parte de su peso a la barra de tiro del tractor y debe causar reacciones similares sobre sus ejes. Este vagón, con llantas infladas a 46 psi, registró esfuerzos cercanos a 300 kPa al paso de ambos ejes, producto de reacciones próximas a 7.5 toneladas sobre cada eje del vagón.

La Figura 4 corresponde al registro de los esfuerzos causados por el vagón HD 20000 cuya distribución de carga se aproxima a 9.5 t en el eje delantero y 12.4 t sobre los ejes posteriores. Este vagón estaba equipado con llantas 560/80D26 que generan superficies de contacto cercanas a 2300 cm². A 10 cm de profundidad se registraron esfuerzos de 275 kPa al paso del tren delantero y de 375 kPa en el eje trasero.

Al comparar las Figuras 3 y 4 se observa que el vagón de autovolteo ejerce menores esfuerzos sobre el suelo debido a su menor peso, menor capacidad de carga y por la mayor transferencia de peso hacia el tractor a través de su barra de tiro rígida. Las llantas (600/50-22.5) que se usan en los vagones de autovolteo generan un área de contacto próxima a 1900 cm²; aunque tienen mayor ancho de sección, son de bajo perfil por su razón de aspecto del 50% (razón entre la altura y el ancho de la sección de la llanta). Esta condición, además de afectar la flotación de la llanta, dificulta el rodamiento por atascamiento con barro y adherencia de los residuos de caña. La llanta 560/80D26 de los vagones HD 20000, aunque es de menor sección, es más favorable por su mayor área de contacto, según los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones de

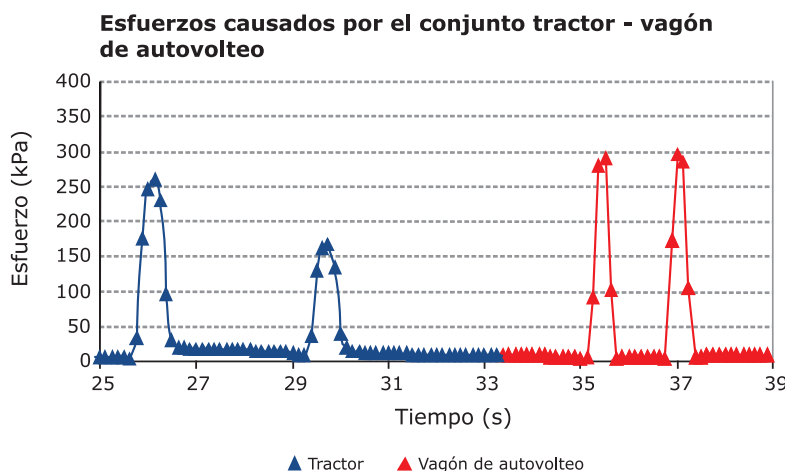


Figura 3. Registro de los esfuerzos causados por el conjunto tractor-vagón de autovolteo a 10 cm de profundidad. Suerte 4 de la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia. Suelo Manuelita, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0.

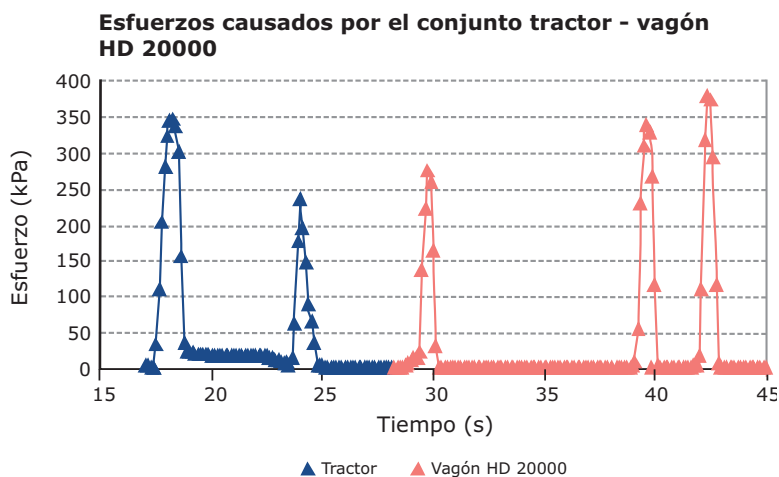


Figura 4. Registro de los esfuerzos causados por el conjunto tractor-vagón HD 20000 a 10 cm de profundidad. Suerte 4 de la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia. Suelo Manuelita, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0.

predicción de superficies y esfuerzos de contacto en llantas agrícolas (González, *et al.*, 2007). Los tractores utilizados en las dos pruebas fueron del mismo modelo y marca; sin embargo, los esfuerzos registrados fueron diferentes debido a que las transferencias de peso fueron diferentes por la naturaleza y magnitud de las cargas que manejó cada tractor durante las evaluaciones. La posición y la altura de los puntos de enganche y de las barras de tiro también pudieron influir para que las transferencias de peso y las cargas dinámicas sobre los ejes de los tractores fueran diferentes.

Resistencia a la penetración

Condición previa a la cosecha. La resistencia a la penetración (Mpa) medida antes del tráfico de los equipos se muestra en la Figura 5. En la capa superficial de 0 cm a 20 cm, la compactación acumulada durante el ciclo del cultivo mostró valores entre 0 MPa y 1 MPa; a profundidades mayores que 15 cm el suelo estaba más compacto y presentó valores de resistencia a la penetración en el rango de 1 MPa a 2 MPa. En la mayor parte del perfil del suelo la resistencia a la penetración está en un rango de valores tolerables, con medidas inferiores a 3.2 MPa, valor considerado como límite a partir del cual se afecta el crecimiento de las raíces (Draghi, 2005; Torres y Rodríguez, 1995).

Compactación inducida por la cosechadora. Las cosechadoras de un surco pisan dos veces sobre el mismo entresurco a medida que avanza la cosecha; por esta razón, la evaluación de la compactación causada por la cosechadora se hizo midiendo la resistencia a la penetración después del segundo pase de la máquina. La distribución de los valores de resistencia a la penetración en el perfil del suelo se muestra en la Figura 6. Al pasar la cosechadora se incrementó la magnitud de la compactación en todo el perfil y aunque aumentó la sección compactada en el rango de 2 MPa a 3 MPa, la compactación en el perfil del suelo se mantuvo en valores moderados debido a que las orugas distribuyen la carga sobre una superficie mayor a la que generan las llantas, dando como resultado menor presión de contacto. Se estima que las cosechadoras pesan entre 17 t y 18 t, generan las superficies de contacto rectangulares con áreas entre 2.2 m² y 2.7 m² que garantizan la condición deseable de presiones o esfuerzos de contacto inferiores a 100 kPa (Torres y Rodríguez, 1995).

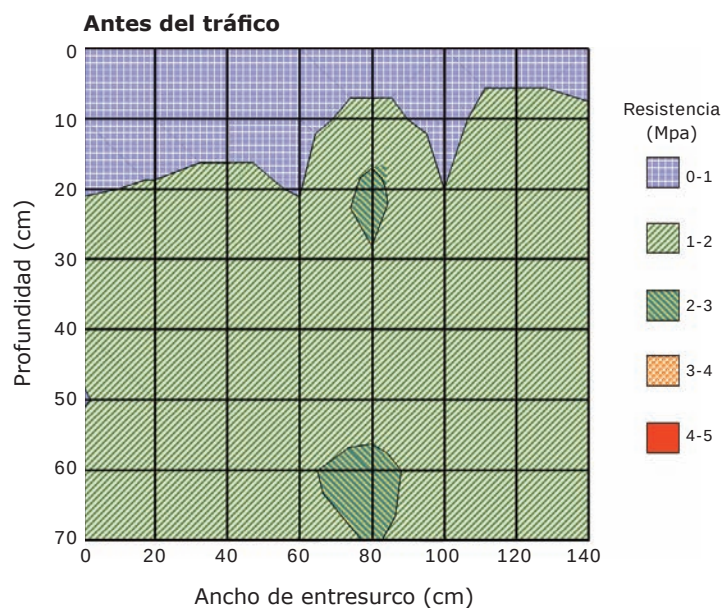


Figura 5. Distribución de la resistencia a la penetración previa al tráfico de maquinaria de cosecha. Suerte 4 de la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia. Suelo Manuelita, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0.

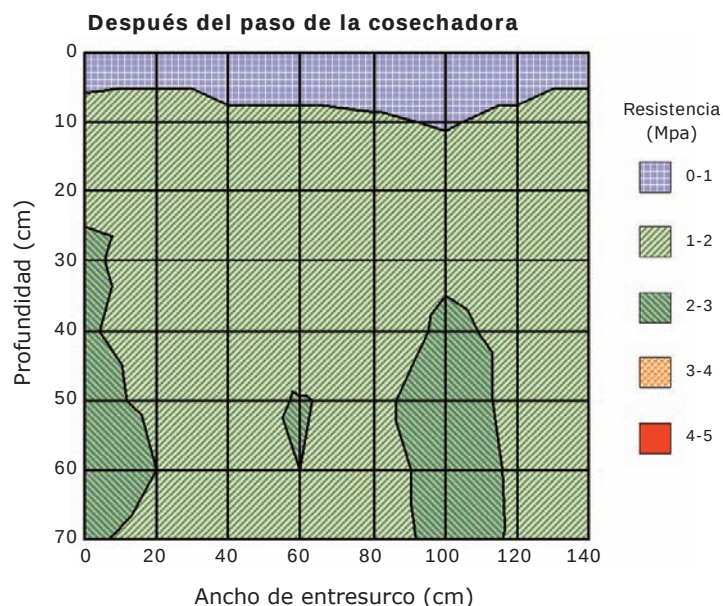


Figura 6. Distribución de la resistencia a la penetración después del segundo pase de la cosechadora. Suerte 4 de la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia. Suelo Manuelita, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0.

Compactación inducida por el vagón de autovolteo.

El tráfico durante la cosecha concluye con un segundo pase del conjunto tractor-vagón. En la Figura 7 se muestra la resistencia a la penetración medida después del pase del conjunto tractor-vagón de autovolteo. La capa compactada, con valores de resistencia a la penetración en el rango de 2 MPa a 3 MPa y ubicada por debajo de 40 cm de profundidad, se extendió a lo ancho del entresurco. Esta compactación en el subsuelo es ocasionada por las altas cargas por eje y sólo se puede eliminar con labranza profunda.

Cabe anotar que en el Ingenio Carmelita se registraron con báscula las cargas en cada llanta de vagones "Milenio" llenos con caña picada y se determinaron cargas de 11 t/eje (Rodríguez, *et al.*, 2007). Se considera que 6 t/eje es la carga límite hasta la cual los daños por compactación del subsuelo son mínimos cuando se usan equipos con enllantado sencillo. Para equipos de enllantado dual el límite está entre 8 t y 10 t (Keller y Arvidsson, 2004; Balbuena, *et al.*, 2000).

Compactación inducida por vagones

HD 20000. Estos vagones pueden transportar hasta 22 t de caña picada, pesan alrededor de 13 t y generan sobre sus ejes traseros cargas cercanas a 12 t. Las mediciones de la resistencia a la penetración realizadas después del paso del vagón HD 20000 se muestran en la Figura 8; es notable el incremento en los valores de resistencia a la penetración con respecto al pase de la cosechadora. La resistencia a la penetración aumenta gradualmente desde la superficie hasta alcanzar valores superiores a 5 MPa a partir de los 50 cm de profundidad, donde la compactación es mayor y es el resultado de la carga por eje transportada por el vagón.

Compactación acumulada. La compactación del suelo aumenta gradualmente durante el desarrollo del cultivo y se incrementa drásticamente durante la cosecha por el tráfico de la maquinaria. En la Figura 9 se muestran los cambios de la resistencia a la penetración según la profundidad, después del tránsito de los equipos. En la medición realizada antes de la cosecha se registra la compactación acumulada durante el período del cultivo que, de hecho, incluye los efectos de la mecanización y los procesos de expansión-contracción causados por los cambios en el contenido de humedad del suelo.

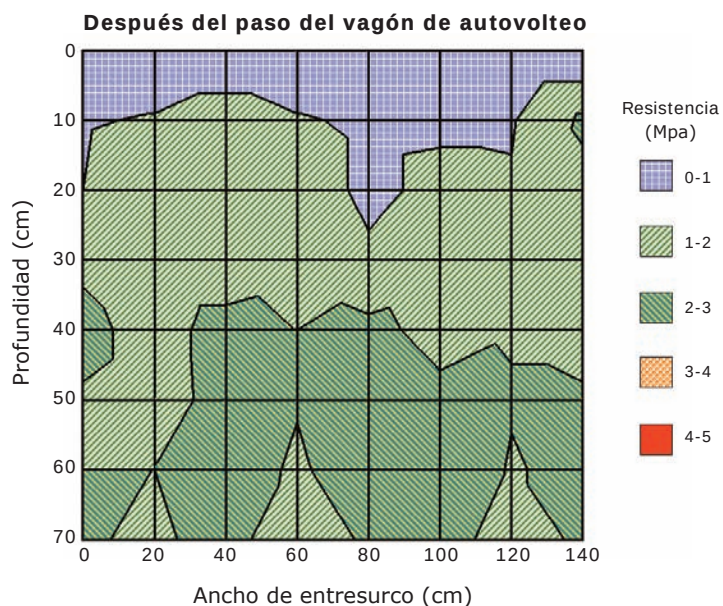


Figura 7. Distribución de la resistencia a la penetración después del paso del vagón de autovolteo. Suerte 4 de la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia. Suelo Manuelita, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0.

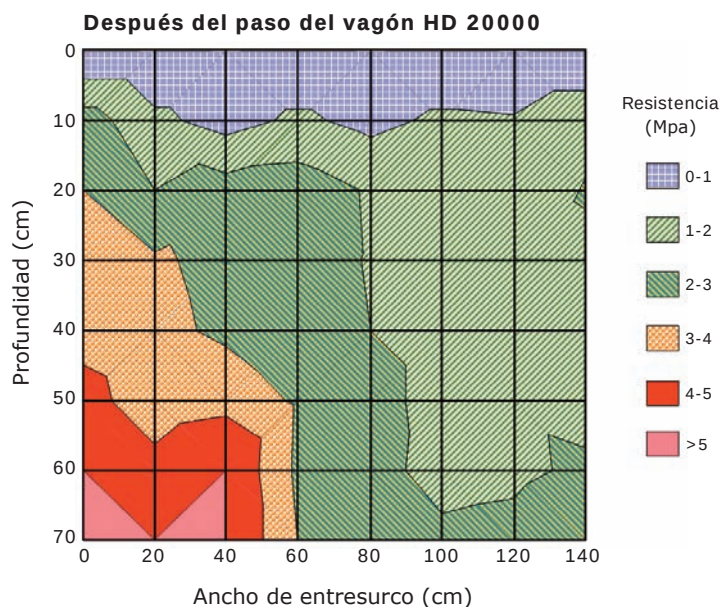


Figura 8. Distribución de la resistencia a la penetración al paso del conjunto tractor-vagón HD 20000. Suerte 4 de la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia. Suelo Manuelita, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0.

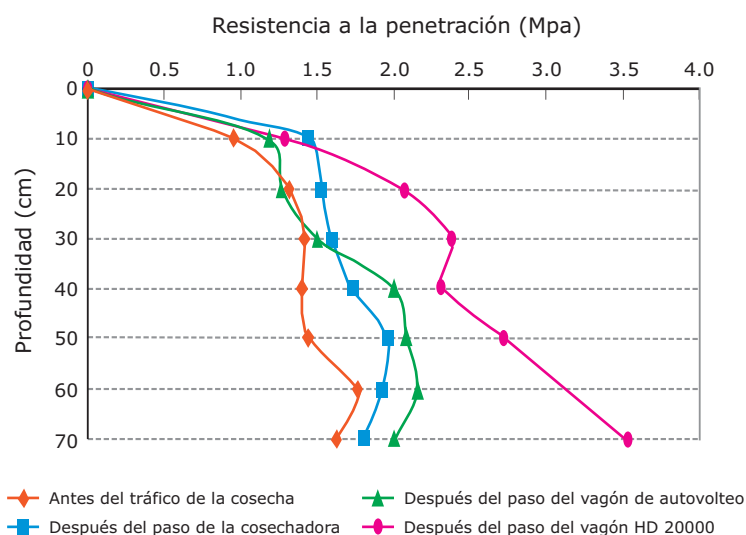


Figura 9. Variación de la resistencia a la penetración con el paso sucesivo de los equipos de cosecha. Suerte 4 de la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia. Suelo Manuelita, familia textural francosa fina, zona agroecológica 11H0.

Después del segundo pase de la cosechadora, la resistencia a la penetración alcanzó un valor máximo de 1.9 MPa. El rodamiento en orugas proporciona grandes superficies de contacto con baja distribución de carga sobre el piso y niveles moderados de compactación. El paso de los equipos más pesados y con mayor carga por eje induce mayor compactación en el subsuelo a partir de los 30 cm de profundidad. Este resultado se notó con mayor énfasis al paso del vagón HD 20000 que alcanzó 3.5 MPa transportando cargas para las cuales los suelos agrícolas no tienen suficiente capacidad portante y exceden su límite elástico, con lo cual se genera deterioro físico (Smith, *et al.*, 2002). Un efecto menos marcado se observa con el vagón de autovolteo, con valores máximos de resistencia a la penetración de 2.1 MPa.

Conclusiones y recomendaciones

1. Las cargas transmitidas al suelo por los vagones durante la cosecha ocasionan esfuerzos de contacto que superan los valores reconocidos como límites aceptables para suelos agrícolas (200 kPa).
2. Los vagones tradicionales de gran capacidad de carga como el HD 20000 inducen alta compactación en el subsuelo: alcanzan valores de resistencia a la penetración superiores a 4 MPa a profundidades mayores de 40 cm.
3. El uso de vagones de menor peso y menor capacidad de carga, como el de autovolteo, es una buena alternativa para reducir la compactación causada durante la cosecha.
4. El Cenisensor desarrollado por Cenicaña es una herramienta útil para medir de manera confiable los niveles de compactación del suelo provocados por el tráfico de la maquinaria en el campo.

5. El proyecto sobre compactación de suelos en la agroindustria de la caña de azúcar continúa y se consideran los siguientes factores: dos suelos de texturas contrastantes, dos condiciones de humedad (seco y húmedo), cinco equipos de transporte, dos sistemas de cosecha, cuatro tipos de llantas y tres presiones de inflado con el fin de formular alternativas de manejo para disminuir la compactación.

Referencias bibliográficas

- Balbuena, R.H.; Terminiello, A.M.; Claverie, J.A.; Casado, J.P. y Marlats, R. 2000. Compactación del suelo durante la cosecha forestal. Evolución de las propiedades físicas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol 4 (3):453-459. Campina Grande. Brasil.
- Draghi, L.M. 2005. Mecanización del huerto frutal. Tráfico controlado con vehículos de bajo peso/eje y altas intensidades de tráfico. Reología del suelo agrícola bajo tráfico. 160 pag. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina.
- González, O.; Iglesias, C.; Herrera, M.; López, E. y Sánchez A. 2007. Modelación matemática de la superficie de contacto suelo-neumático. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 16(2):49-51. Universidad Agraria de La Habana. Cuba.
- González, O. y Rodríguez, M. 2002. Determinación de las principales características técnicas de los equipos de transporte de caña de azúcar. Universidad Agraria de La Habana. Cuba.
- Keller, T. y Arvidsson, J. 2004. Technical solutions to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. Soil & Tillage Research. Vol. 79:191-205. Elsevier. The Netherlands.
- Rodríguez, L.A.; Urbano, J.A.; Montoya, W.; Bernal, N.; Chaparro, O. y Escobar, D.F. 2007. Evaluación de la compactación causada por vagones de transporte a través de la superficie de contacto suelo-llanta en el Ingenio Carmelita S.A. Carta Trimestral 29(4):13-19. Cenicaña. Cali, Colombia.
- Smith, J.E.; Hilbert, J.A. y Aucana, M.O. 2002. Clasificación de vehículos en función del grado de compactación ejercida sobre suelo agrícola. INTA. Buenos Aires. Argentina.
- Torres, J.S. y Rodríguez, L.A.. 1995. Soil compaction management for sugarcane. XXII ISSCT Proceedings. Sept. 11-15. Cartagena, Colombia. Pag. 222-229.
- Torres, J.S. y Villegas, F. 1993. Differentiation of soil compaction and cane stool damage. Sugar Cane. No 1. Pag 7-11. Gran Bretaña.

Evaluación del comportamiento estructural de conexiones soldadas en vagones utilizados para el transporte de caña

Pedro Wirley Castro Fori, Diego Fernando Cobo Barrera y Adolfo León Gómez Perlaza *

Introducción

Las conexiones entre los diferentes elementos que componen una estructura metálica son de suma importancia en el desempeño operacional de la misma. Los vagones empleados actualmente para el transporte de caña en la agroindustria azucarera colombiana se componen de estructuras metálicas unidas por conexiones soldadas. La mayoría de las fallas estructurales son el resultado de conexiones diseñadas y ejecutadas pobremente o de reparaciones inadecuadas de las mismas. Una conexión inadecuada, que puede ser el “eslabón débil” en una estructura, es con frecuencia la causa de numerosas fallas. Dada la importancia de las conexiones en una estructura metálica, se requiere un proceso de soldadura adecuado que siga un procedimiento recomendado, de manera que se pueda lograr una buena unión de los elementos que conforman la conexión. Se busca evitar defectos en la soldadura, los cuales aumentan la criticidad de la unión. En estudios realizados por Cobo Barrera y colaboradores (2007) se evidenció que las conexiones de las esquinas y la zona de transición en la estructura de la canasta son las que se someten a mayores exigencias, razón por la cual se evaluaron estas conexiones. Los resultados se presentan a continuación y son un complemento de los trabajos que viene adelantando Cenicaña con el objetivo de definir los fundamentos teóricos para el desarrollo de modelos de análisis estructural de los equipos de transporte de caña de azúcar.

Materiales y métodos

Con el propósito de determinar el comportamiento estructural de las conexiones típicas en vagones de transporte de caña se realizaron modelos de las conexiones, los cuales fueron evaluados utilizando la técnica de análisis por elementos finitos (software ALGOR®). Para modelar las conexiones se elaboraron modelos tridimensionales utilizando un análisis elástico-lineal con elementos tipo BRICK. Estos modelos sirven para obtener el estado de esfuerzos sobre las uniones de este tipo con buena precisión (Saidani, M., 2008).

Posteriormente, para validar los resultados obtenidos en el análisis por elementos finitos se hicieron pruebas experimentales en modelos reales a escala: dos conexiones fabricadas en perfiles estructurales de acero ASTM A36, proceso de soldadura GMAW

con CO₂ como gas de protección y empleo de métodos y materiales de iguales características que los utilizados en la construcción típica de un vagón para el transporte de caña. En la conexión 1, correspondiente a la zona de transición en la canasta, se instalaron medidores de deformación (*strain gages*) en cuatro puntos, mientras que en la conexión 2 (esquina superior de la canasta) se instalaron medidores en dos puntos. Los valores de las cargas aplicadas a las conexiones fueron obtenidos a partir de modelos estructurales del vagón analizados mediante elementos finitos (Cobo Barrera, *et. al.*, 2007). Las conexiones se evaluaron en una máquina universal de pruebas de tensión y compresión facilitada por la Universidad del Valle.

Finalmente, con el objetivo de identificar las variables de mayor impacto en el factor de seguridad en las conexiones soldadas se empleó un modelo de viga en voladizo con una carga vertical aplicada en el extremo libre para realizar un análisis de sensibilidad utilizando el software Crystal Ball®. Para obtener las fuerzas generadas sobre la unión se empleó el modelo de cálculo de esfuerzos en una unión soldada desarrollado por Blodgett (1976) (Figura 1), en el que se considera el cordón de soldadura como una línea. En el Cuadro 1 se presentan las variables que fueron tenidas en cuenta en el análisis de sensibilidad. Para cada una de las variables se establecieron unos valores máximos y mínimos: como valor mínimo de fuerza se consideró el vagón cargado y en estado estacionario y como valor máximo, la variación máxima obtenida en pruebas experimentales durante ciclos de operación de un tren cañero (Castro Fori, 2008). Para la simulación se usaron diez mil escenarios.

Esquema de viga en voladizo

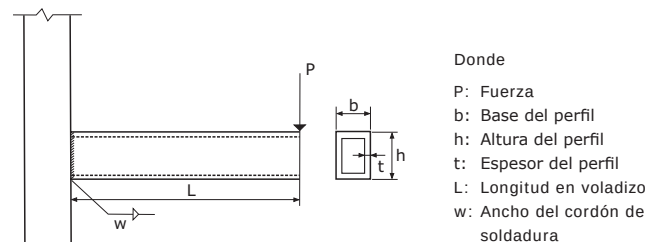


Figura 1. Esquema de viga en voladizo utilizada para el análisis de sensibilidad del factor de seguridad de conexiones soldadas.

* Estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle en periodo de práctica profesional <pwcastro@cenicana.org>; Ingeniero Mecánico, Ingeniero Mecánico <dcobo@cenicana.org>; Ingeniero Mecánico, M.Sc., Asesor en Procesos Mecánicos <algomez@cenicana.org>. Todos de Cenicaña.

Cuadro 1. Características de las variables de análisis de sensibilidad del factor de seguridad de conexiones soldadas utilizando como ejemplo una viga en voladizo.

Parámetro	Unidades	Máximo	Mínimo
Fuerza (P)	N (Lbf)	2376 (485)	813 (166)
Esfuerzo permisible (σ_{perm})	MPa (Psi)	150 (21755)	100 (14700)
Ancho del cordón de soldadura (w)	mm (pulgadas)	1.52 (0.3)	15.70 (0.6)
Espesor del perfil (t)	mm (pulgadas)	4.77 (0.188)	4.75 (0.187)
Altura del perfil (h)	mm (pulgadas)	97.79 (3.85)	96.52 (3.80)
Base del perfil (b)	mm (pulgadas)	70.10 (2.76)	68.83 (2.71)
Longitud en voladizo (L)	mm (pulgadas)	530.86 (20.90)	529.59 (20.85)

Resultados

El estado de esfuerzos identificado mediante el análisis por elementos finitos (FEA, sigla en inglés) y los puntos donde se instalaron los medidores de deformación en las conexiones fabricadas para las evaluaciones experimentales se presentan en la Figura 2. La comparación de los esfuerzos en los distintos puntos de medición se muestra en las Figuras 3 y 4.

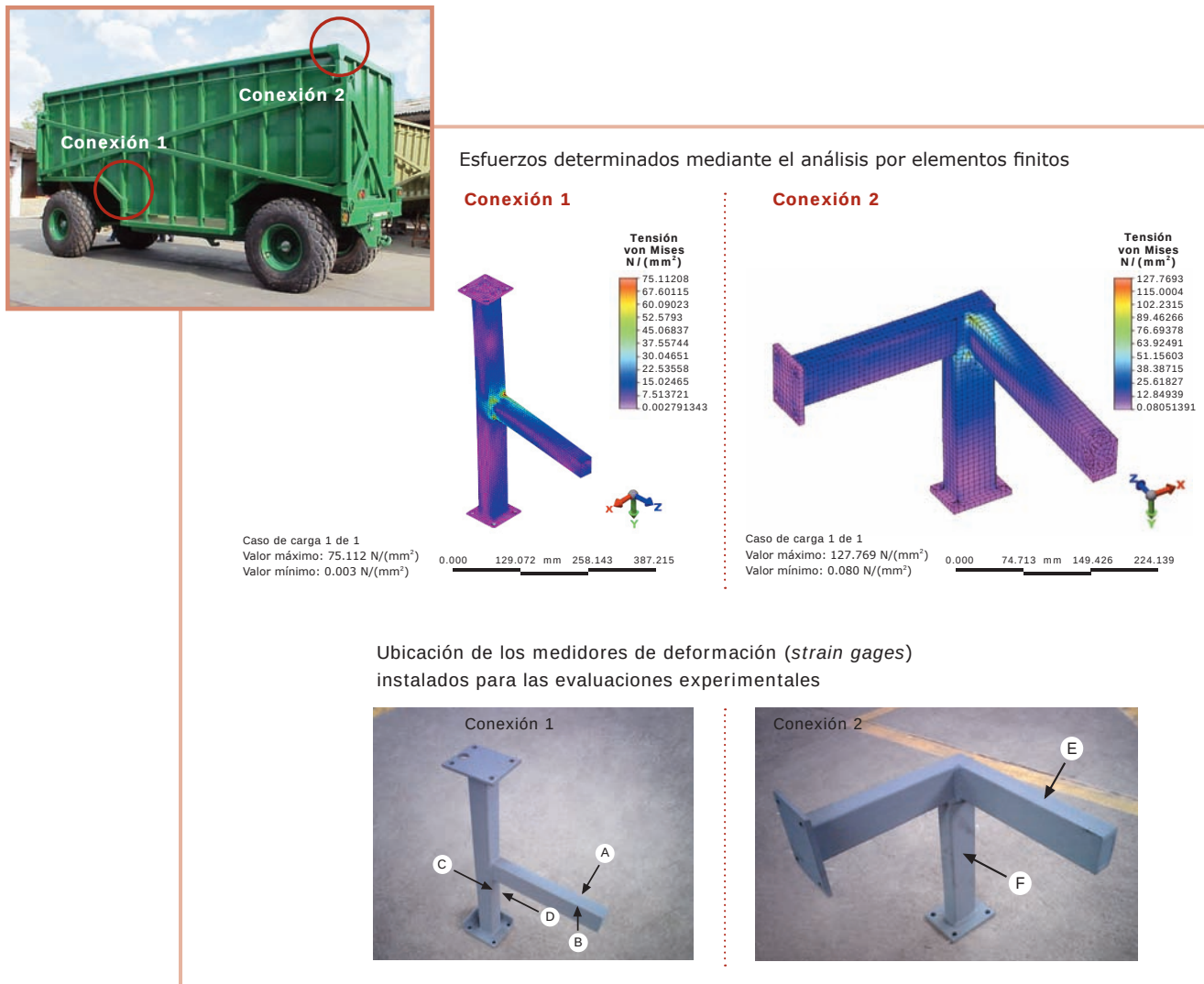


Figura 2. Identificación de las conexiones evaluadas, valor de los esfuerzos determinados mediante el análisis por elementos finitos y puntos donde se hicieron las mediciones experimentales.

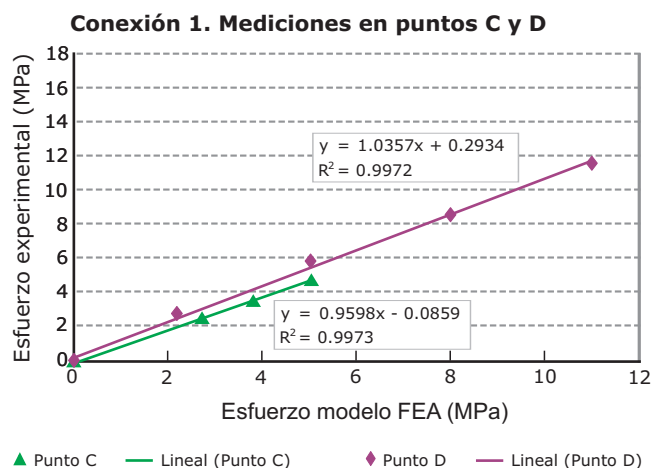
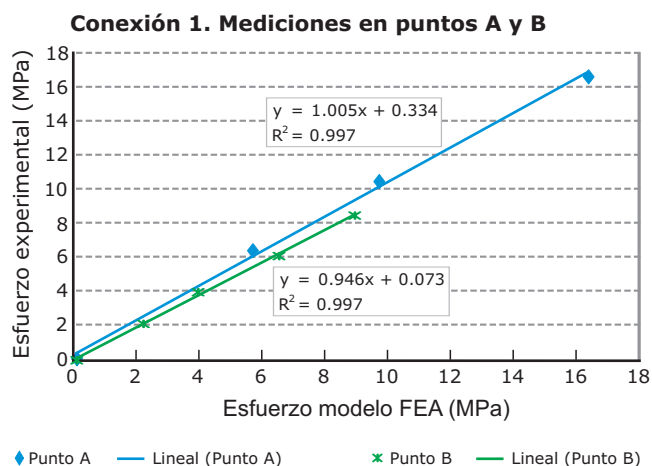


Figura 3. Comparación de los esfuerzos determinados en la conexión 1 mediante el análisis con elementos finitos y las mediciones experimentales (ver figura 2 anterior).

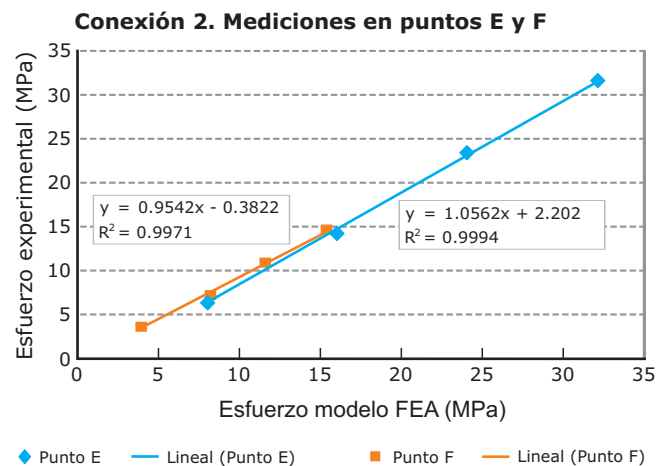


Figura 4. Comparación de los esfuerzos determinados en la conexión 2 mediante el análisis con elementos finitos y las mediciones experimentales (ver figura 2 anterior).

Una unión soldada está sujeta a variaciones en la geometría y la calidad de la unión, las cuales afectan el esfuerzo permisible (σ_{perm}) de la soldadura aplicada. Otra variable que afecta el comportamiento de la unión soldada es la variación de cada una de las fuerzas resultantes sobre la unión.

De acuerdo con los resultados se observa que las variaciones de las cargas que actúan sobre la estructura de un vagón para transporte de caña, debido a los diferentes tipos de terrenos y condiciones de carga, son las de mayor influencia en el factor de seguridad. Un aumento en magnitud de las variables con correlación positiva como el esfuerzo permisible (σ_{perm}) y el ancho del cordón (w), las cuales dependen exclusivamente del procedimiento y la metodología de soldadura aplicada, incrementa el valor del factor de seguridad; mientras que el incremento en la fuerza aplicada (P) contribuye a la disminución de dicho factor (Figura 5).

Para uniones soldadas de este tipo, la literatura recomienda un factor de seguridad mínimo de 1.5 (Shigley, 2002). Como se observa en la Figura 6 este valor no se cumple en el caso del ancho del cordón de soldadura inferior a 0.2 pulgadas (5.08 milímetros) y con carga superior a 350 Lbf (1560 N). Lo anterior sugiere emplear un ancho de cordón de soldadura (w) superior a 0.3 pulgadas (7.62 milímetros).

Sensibilidad del factor de seguridad

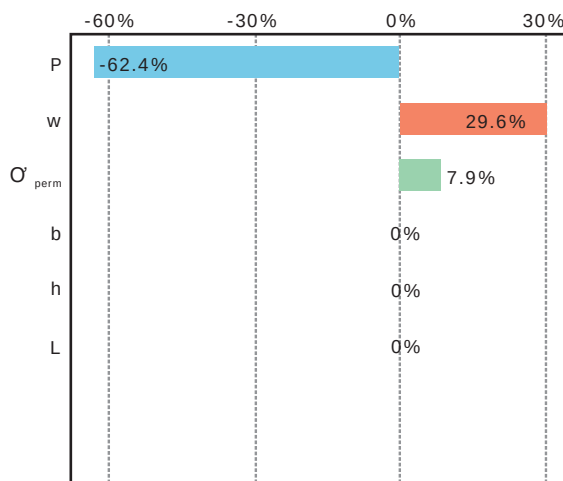


Figura 5. Sensibilidad del factor de seguridad ante variaciones en la carga aplicada y los parámetros geométricos de una viga en voladizo utilizada como ejemplo de conexión soldada para el análisis.

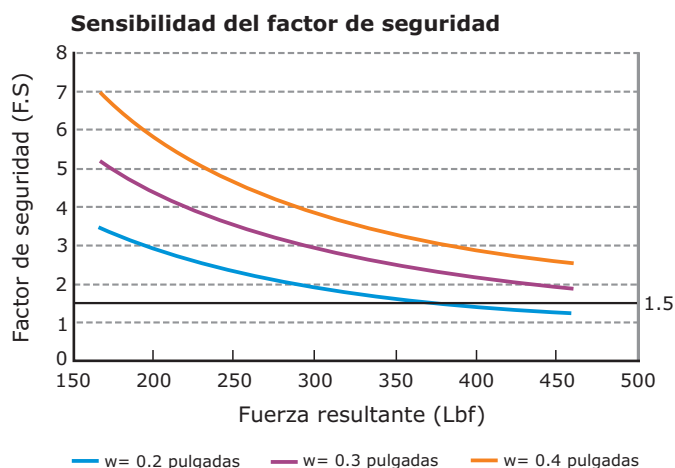


Figura 6. Sensibilidad del factor de seguridad para diferentes anchos del cordón de soldadura, ante variaciones en la fuerza resultante.

Conclusiones

El modelado de conexiones de perfiles de pared delgada unidas con soldadura por arco mediante el empleo de la técnica de elementos finitos genera resultados confiables, con coeficientes de correlación superiores a $R^2=0.996$. Lo anterior valida el empleo de la herramienta de análisis y modelación por elementos finitos en el diseño de estructuras de pared delgada unidas por soldadura, tales como los vagones para el transporte de caña empleados actualmente en la agroindustria azucarera colombiana.

En el diseño de una unión soldada como la analizada para la estructura de la canasta de un vagón cañero, las variables de mayor importancia son la carga resultante (P) y el ancho del cordón de soldadura (w). Al aplicar un procedimiento de soldadura adecuado se busca que los factores de seguridad no sean menores a los asumidos en el diseño de la junta soldada.

Proyecciones

Las reparaciones realizadas a la estructura de vagones deben seguir procedimientos y normas establecidos para esta aplicación. Se deben implementar acciones de control en las labores de reparación soldada, como diseño de procedimientos, listas de chequeo para la aplicación del procedimiento, evaluación de las soldaduras aplicadas por métodos de ensayo no destructivos, que permitan garantizar que la unión soldada reparada conserva los factores de seguridad con los que fue diseñada.

Agradecimientos

Al Ingenio Providencia S.A., a la Universidad del Valle y a la empresa Imecol S.A. por su colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

Referencias bibliográficas

- Blodgett Omer, W. 1976. Design of weldments. 8 Ed. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation. Cleveland. Sección 6.3.2.
- Castro Fori, P.W. 2008. Modelado y evaluación experimental de estructuras de vagones para el transporte de caña. Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. p.55-68.
- Cobo Barrera, D.F.; Gómez, A.L.; Bejarano Restrepo, L. 2007. Observaciones preliminares sobre el análisis estructural de vagones. Carta Trimestral. 29, 2-3, (abr.-sep.): p.31-32.
- Shigley J.E. y Mischke C.R. 2002. Diseño en Ingeniería Mecánica. Sexta Edición. McGraw-Hill. México. p.535-550.
- Saidani, M. 2008. Behaviour of welded T-end connection to rectangular hollow section (RHS) in axial tension. Journal of Constructional Steel Research. v.64. p.447-453.

Características principales del comportamiento del clima en el valle del río Cauca durante 2008

Enrique Cortés B.*

A comienzos de 2008 se presentó la fase de mayor intensidad de "La Niña", fenómeno climático de escala planetaria que tiene lugar en la cuenca del océano Pacífico tropical, con anomalías negativas de la temperatura superficial del mar de hasta 1.5 °C por debajo de su valor medio anual multianual. Este evento, que se había iniciado en agosto de 2007 y se prolongó hasta mayo de 2008, se caracterizó por ser de intensidad moderada. Entre los meses de junio y octubre de 2008 predominaron condiciones normales (no-Niño y no-Niña) y en noviembre se inició un nuevo evento frío "La Niña", el cual se intensificó fuerte y rápidamente durante el mes de diciembre.



En el valle del río Cauca el año 2008 se constituyó en el más lluvioso de los últimos quince años.

La precipitación atmosférica fue de 1664 milímetros, cantidad que superó en 32% el valor medio anual multianual para el valle del río Cauca (1262 milímetros).



Durante 2008 la zona de convergencia intertropical hizo su migración normal sobre el territorio colombiano, determinando, como tradicionalmente lo hace en toda la zona andina colombiana, temporadas lluviosas en abril-mayo y octubre-noviembre y temporadas de bajas precipitaciones en enero-febrero y julio-agosto (régimen 'bimodal' de la precipitación anual).

De acuerdo con las condiciones externas mencionadas y los datos suministrados por las estaciones de la Red Meteorológica Automatizada (RMA) de la industria azucarera colombiana, en el valle del río Cauca el año 2008 se constituyó en el más lluvioso de los últimos quince años. La precipitación atmosférica fue de 1664 milímetros, cantidad que superó en 32% el valor medio anual multianual para el valle del río Cauca (1262 milímetros). Por cuarto año consecutivo, año tras año desde 2005, ha venido aumentando significativamente la cantidad de precipitación anual en el valle del río Cauca (Figura 1).

A pesar de que las temporadas secas y lluviosas estuvieron bien marcadas durante 2008, en el valle del río Cauca se presentó gran variabilidad intra-anual de la precipitación (Figura 2). En agosto, julio, febrero y mayo se registraron lluvias excesivas en promedio para la región, entre 148% y 70% por encima de la respectiva media mensual multianual, mientras que en abril, diciembre, enero y junio las lluvias estuvieron entre 26% y 47% por encima del respectivo valor multianual. En marzo y noviembre se presentaron valores mensuales de precipitación normales, tan sólo un poco por encima de los valores acostumbrados para cada uno de estos meses (109%). Sólo septiembre y octubre de 2008 fueron en general meses deficitarios en lluvias (82% y 84%), sobre todo en las zonas centro y centro-sur del valle del río Cauca. Noviembre también resultó escaso en lluvias en la zona centro.

En el año 2008, con una radiación media diaria anual de 403 cal/cm², se presentó, igual que en el año 1999, el segundo valor más bajo de esta variable climatológica de los últimos quince años, superior sólo al registro del año 2000 que fue igual a 396 cal/cm². En 2008 la radiación media diaria anual estuvo 3% por debajo del valor multianual (414 cal/cm²) (Figura 3).

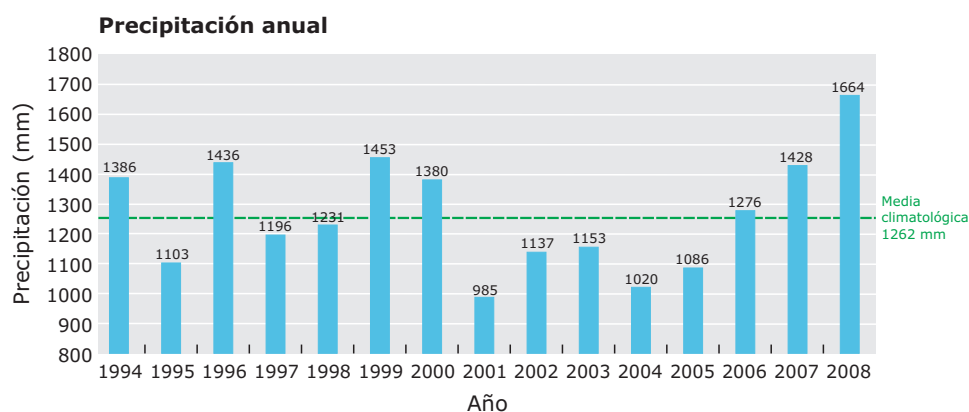


Figura 1. Promedio anual de la precipitación atmosférica en el valle del río Cauca. Periodo 1994-2008. RMA.

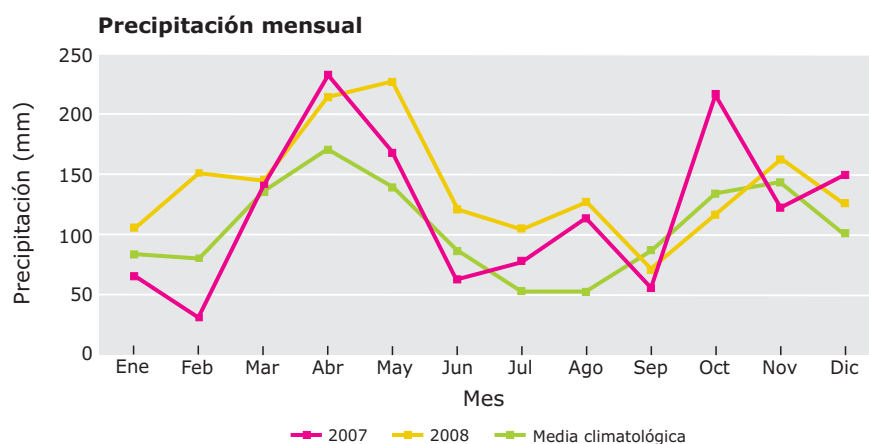


Figura 2. Promedio mensual de la precipitación atmosférica en el valle del río Cauca. Años 2007, 2008 y periodo 1994-2008. RMA.

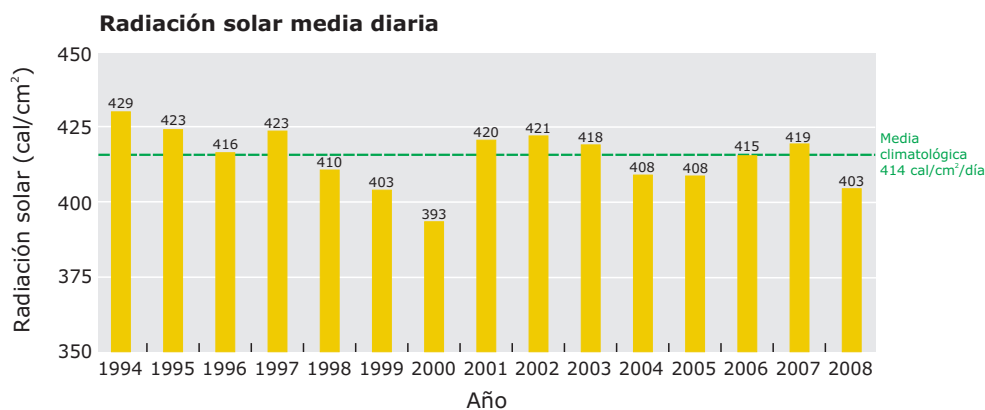


Figura 3. Promedio anual de la radiación solar media diaria en el valle del río Cauca. Periodo 1994-2008. RMA.

Las temperaturas medias (mínima, media y máxima), así como la oscilación media diaria de la temperatura mostraron durante 2008 valores por debajo de los acostumbrados para la región, de tal forma que este año se puede catalogar, en su conjunto, como un año sensiblemente frío (Figura 4). La oscilación media diaria anual de la temperatura fue menor en 0.2 °C que su respectivo valor medio multianual (Figura 5).

El promedio anual de la humedad relativa del aire mostró en 2008 un valor bastante cercano al medio multianual, apenas 1% por debajo de éste y un poco más alto que el registrado en los cuatro años anteriores.

El comportamiento anual en 2008 de las variables atmosféricas temperatura, precipitación y radiación solar en el valle del río Cauca se muestra muy acorde con la influencia que el fenómeno "La Niña" ejerce en las condiciones climáticas regionales; dos eventos del fenómeno se presentaron en el océano Pacífico tropical durante buena parte del año y de acuerdo con ellos en 2008 se observaron temperaturas y radiación solar bajas o muy bajas, así como volúmenes de precipitación altos o muy altos en el valle. Según los datos suministrados por las estaciones de la RMA, 2008 ha sido el año más lluvioso desde 1994, bastante frío, de baja radiación solar, intermedio entre seco y húmedo (Cuadro 1).

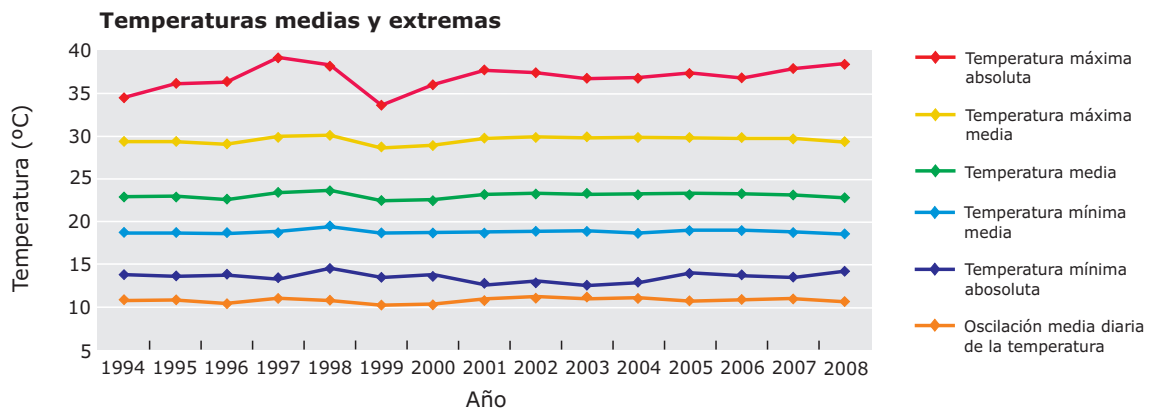


Figura 4. Promedios y extremos anuales de la temperatura del aire en el valle del río Cauca. Periodo 1994-2008. RMA.

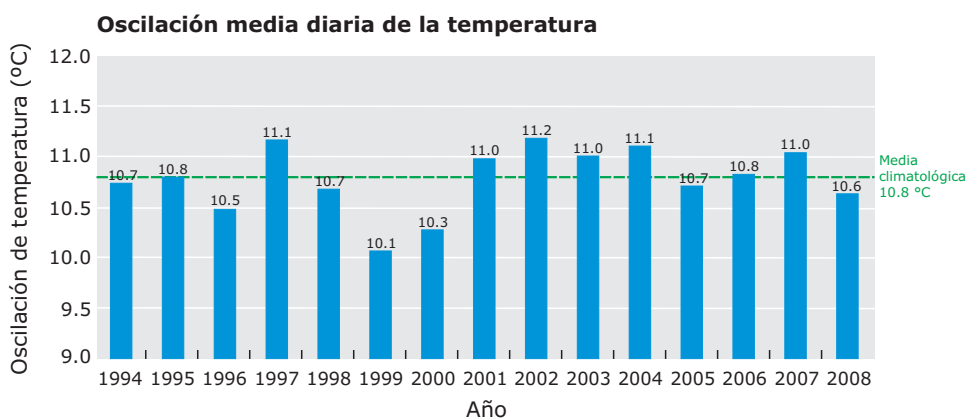


Figura 5. Promedio anual de la oscilación media diaria de la temperatura en el valle del río Cauca. Periodo 1994-2008. RMA.

Cuadro 1. Resumen comparativo del clima en el valle del río Cauca. Red Meteorológica Automatizada (1994-2008).

Temperatura mínima absoluta (°C)			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayores temperaturas mínimas absolutas			
1998	14.5	14.8	14.5
2008	14.4	14.2	14.2
2005	15.5	14.0	14.0
Años intermedios			
2000	15.6	13.8	13.8
1994	15.2	13.8	13.8
1996	15.3	13.7	13.7
2006	15.0	13.6	13.6
1995	13.6	14.9	13.6
1999	14.7	13.5	13.5
2007	13.4	13.6	13.4
1997	15.4	13.2	13.2
2002	14.1	13.1	13.1
Años de menores temperaturas mínimas absolutas			
2004	12.8	13.7	12.8
2001	13.6	12.7	12.7
2003	14.6	12.6	12.6
Clima	12.8	12.6	12.6

Temperatura mínima media (°C)			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayores temperaturas mínimas medias			
1998	19.9	18.9	19.4
2005	19.5	18.8	19.1
2006	19.2	18.8	19.0
Años intermedios			
1997	19.0	18.8	18.9
2002	18.9	18.8	18.9
2003	19.1	18.7	18.9
2007	19.1	18.5	18.8
2001	18.8	18.7	18.8
1994	18.8	18.6	18.7
2004	18.9	18.6	18.7
1995	18.8	18.5	18.7
2008	18.7	18.6	18.7
Años de menores temperaturas mínimas medias			
2000	18.8	18.5	18.7
1999	18.8	18.4	18.6
1996	18.7	18.4	18.6
Clima	19.0	18.6	18.8

Temperatura media (°C)			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años más cálidos			
1998	24.3	23.0	23.6
1997	23.1	23.8	23.5
2002	23.3	23.5	23.4
Años intermedios			
2005	23.5	23.1	23.3
2003	23.4	23.0	23.2
2006	23.1	23.3	23.2
2004	23.4	23.0	23.2
2001	23.1	23.3	23.2
2007	23.4	22.8	23.1
1994	22.8	23.1	23.0
1995	23.3	22.7	23.0
2008	22.7	22.7	22.7
Años más fríos			
1996	22.6	22.7	22.6
2000	22.5	22.8	22.6
1999	22.6	22.5	22.5
Clima	23.1	23.0	23.1

Temperatura máxima media (°C)			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayores temperaturas máximas medias			
1998	30.8	29.3	30.1
1997	30.8	30.8	30.0
2002	29.8	30.2	30.0
Años intermedios			
2003	30.1	29.6	29.8
2007	30.2	29.4	29.8
2005	29.8	29.8	29.8
2004	30.0	29.7	29.8
2006	29.5	30.0	29.8
2001	29.6	29.8	29.7
1994	29.2	29.7	29.4
1995	29.9	29.0	29.4
2008	29.3	29.2	29.3
Años de menores temperaturas máximas medias			
1996	28.8	29.2	29.0
2000	28.6	29.2	28.9
1999	28.7	28.7	28.7
Clima	29.7	29.5	29.6

Temperatura máxima absoluta (°C)			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayores temperaturas máximas absolutas			
1997	34.8	39.2	39.2
2008	35.2	38.5	38.5
1998	37.6	38.3	38.3
Años intermedios			
2007	36.8	37.9	37.9
2001	37.7	36.2	37.7
2002	36.9	37.5	37.5
2005	37.0	37.4	37.4
2004	36.9	36.1	36.9
2006	35.5	36.8	36.8
2003	36.7	34.3	36.7
1996	33.3	36.3	36.3
1995	36.1	34.8	36.1
Años de menores temperaturas máximas absolutas			
2000	32.9	36.0	36.0
1994	33.0	34.4	34.4
1999	33.4	33.6	33.6
Clima	37.7	39.2	39.2

Oscilación de temperatura (°C)			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayores oscilaciones			
2002	10.9	11.4	11.2
1997	10.2	12.1	11.1
2004	11.1	11.1	11.1
Años intermedios			
2007	11.1	10.9	11.0
2003	11.0	11.0	11.0
2001	10.8	11.1	11.0
2006	10.3	11.3	10.8
1995	11.0	10.5	10.8
1994	10.4	11.1	10.7
2005	10.4	11.0	10.7
1998	11.0	10.4	10.7
2008	10.7	10.6	10.6
Años de menores oscilaciones			
1996	10.1	10.8	10.5
2000	9.9	10.7	10.3
1999	9.9	10.2	10.1
Clima	10.6	10.9	10.8

Continúa

Humedad relativa del aire (%)			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años más secos			
2000	88	86	87
1999	87	86	86
2001	86	84	85
Años intermedios			
1998	83	84	84
1996	85	82	84
2002	85	80	82
1995	81	83	82
1997	84	78	81
2008	81	81	81
2003	80	81	81
2004	80	80	80
1994	82	78	80
Años más húmedos			
2007	79	80	79
2005	81	78	79
2006	80	76	78
Clima	83	81	82

Precipitación (mm)			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años más lluviosos			
2008	960	704	1664
1999	820	633	1453
1996	906	530	1436
Años intermedios			
2007	697	731	1428
1994	821	565	1386
2000	841	538	1380
2006	744	531	1276
1998	655	576	1231
1997	774	421	1196
2003	550	604	1153
2002	602	535	1137
1995	521	582	1103
Años menos lluviosos			
2005	543	544	1086
2004	461	559	1020
2001	527	458	985
Clima	695	567	1262

Radiación solar (cal/(cm²xdía))			
Periodo	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayores radiaciones			
1994	425	433	429
1995	430	417	423
1997	417	429	423
Años intermedios			
2002	413	429	421
2001	421	419	420
2007	424	413	419
2003	426	410	418
1996	410	421	416
2006	407	422	415
1998	416	403	410
2004	413	403	408
2005	392	424	408
Años de menores radiaciones			
2008	412	394	403
1999	404	402	403
2000	389	397	393
Clima	413	414	414

Variable	Año 2007			Año 2008			Clima 1994-2008		
	Sem. 1	Sem. 2	Año	Sem. 1	Sem. 2	Año	Sem. 1	Sem. 2	Año
Temperatura mínima absoluta (°C)	13.4	13.6	13.4	14.4	14.2	14.2	12.8	12.6	12.6
Temperatura mínima media (°C)	19.1	18.5	18.8	18.7	18.5	18.7	19.0	18.6	18.8
Temperatura media del aire (°C)	23.4	22.8	23.1	22.7	22.7	22.7	23.1	23.0	23.1
Temperatura máxima media (°C)	30.2	29.4	29.8	29.3	29.2	29.3	29.7	29.5	29.6
Temperatura máxima absoluta (°C)	36.8	37.9	37.9	35.2	38.5	38.5	37.7	39.2	39.2
Oscilación media diaria de la temperatura (°C)	11.1	10.9	11.0	10.7	10.6	10.6	10.6	10.9	10.8
Humedad relativa media (%)	79	80	79	81	81	81	83	81	82
Precipitación mínima en un mes (mm)	31	55	31	104	71	71	80	52	52
Precipitación máxima en un mes (mm)	232	215	232	226	162	226	170	143	170
Precipitación total (mm)	697	731	1428	960	704	1664	695	567	1262
Radiación solar media diaria (cal/(cm²xdía))	424	413	419	412	394	403	413	414	414

► Más información en: www.cenicana.org/clima_/index.php

*Una organización comprometida con la excelencia en investigación y servicios.
Entidad sin ánimo de lucro que desde su fundación en 1977 se financia
principalmente con aportes directos de los ingenios azucareros y los proveedores
de caña de azúcar localizados en el valle geográfico del río Cauca.*

► **Servicios de diagnóstico de enfermedades en semilleros y cultivos comerciales, importación y cuarentena de variedades de caña de azúcar**

Laboratorio de Fitopatología en la Estación Experimental, ext.5150 ó 5139

<www.cenicana.org/servicios/diagnostico_enfermedades.php>

Importación de variedades: Jorge I. Victoria, ext.5127 <jivictoria@cenicana.org>

► **Servicios de análisis de suelos y análisis foliar y recomendaciones de fertilización y enmiendas para el cultivo de la caña de azúcar**

Laboratorio de Química en la Estación Experimental, ext.5149

<www.cenicana.org/servicios/analisis_suelo.php>

Sistema experto de fertilización, SEF v.2009

<www.cenicana.org/aeps/sef.php>

► **Preguntas frecuentes y consultorio tecnológico**

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología, ext.5168

<www.cenicana.org/banco_preguntas/index.php>

► **Sistema SqrF: Sugerecias, quejas, reclamos y felicitaciones**

Grupo de Respuesta al Cliente, ext.5179 ó 5133

<www.cenicana.org/grc/index.php>



Si usted es donante de Cenicaña y aún no utiliza los servicios de información disponibles en nuestro sitio web, comuníquese con nosotros o visítenos en la Estación Experimental: Además de su clave de acceso le ofrecemos capacitación en el uso de internet.

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología, ext.5168

<www.cenicana.org/hoja_registro_pag.php>

Apreciado lector...

Si cambia de dirección postal o de dirección electrónica, por favor, infórmenos. Sólo así podremos asegurarnos de que continuará recibiendo nuestras publicaciones impresas y nuestros boletines electrónicos.

Remita sus datos actualizados incluyendo: Nombres y apellidos, cédula de ciudadanía, dirección postal y de correo electrónico, teléfono, fax, afiliación institucional y NIT de la empresa, nombres de la(s) hacienda(s) y el ingenio relacionado.

Rte/ Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología. Cenicaña.

Dirección postal: Calle 58 norte N° 3BN-110. Cali, Colombia.

buzon@cenicana.org



Estación Experimental

Via Cali-Florida km 26
San Antonio de los Caballeros
(Florida, Valle del Cauca)

<www.cenicana.org/rutas.php>

Teléfono (57) (2) 687 66 11

Fax (57) (2) 260 78 53

www.4-72.com.co

472
LA RED POSTAL DE COLOMBIA

► Línea de Atención al Cliente Nacional ◀
01 8000 111210

Tarifa Postal Reducida No. 2009-129

4-72 La Red Postal de Colombia

Vence 31 de diciembre de 2009