



# 2011

## Informe Anual

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

[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

**Carátula**

La siembra de las variedades de caña de azúcar en las zonas agroecológicas donde presentan mejor adaptación, su manejo con prácticas de agricultura específica por sitio y el cuidado del agua, tres aspectos destacados de la gestión de Cenicaña en el sector azucarero colombiano.

Fotografías: panorámica de cultivo con la variedad CC 93-4418 (Juan Esteban Martínez Duque), detalle de la variedad CC 93-4418 (Adriana Vega Osorio), reservorio natural de agua (Armando Campos Rivera). Carátula interior: Estación Experimental de Cenicaña (Marcela Cadavid Ordóñez).

**Publicación Cenicaña**

ISSN 0120-5854

**Cita bibliográfica**

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali. 2012.  
Informe Anual 2011. Cali, Cenicaña. 136 p.

**Producción editorial**

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

**Tiraje**

800 ejemplares

**Dirección postal**

Calle 58 norte No. 3BN-110  
Cali, Valle del Cauca, Colombia

**Estación experimental**

San Antonio de los Caballeros  
Vía Cali-Florida km 26  
Tel: (57-2) 687 66 11  
Fax: (57-2) 260 78 53  
[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)  
[buzon@cenicana.org](mailto:buzon@cenicana.org)

**Nota:**

La mención de productos comerciales en esta publicación tiene solamente el propósito de ilustrar a los lectores acerca de las pruebas realizadas y en ningún caso compromete a Cenicaña con los fabricantes, quienes no están autorizados para usar los resultados con fines promocionales ni publicitarios.



## Junta Directiva 2010–2012

---

**Juan José Lülle Suárez**  
Presidente

**Nohra Pérez Castillo**  
Secretaria

### Principales

**Juan José Lülle Suárez**  
Presidente  
Incauca S.A.

**Alfonso Ocampo Gaviria**  
Presidente  
Riopaila Castilla S.A.

**Adolfo León Vélez Vélez**  
Gerente General  
Ingenio Manuelita S.A.

**Andrés Rebolledo Cobo**  
Gerente General  
Ingenio Pichichí S.A.

**Luis Fernando Londoño Capurro**  
Presidente  
Asocaña

**Rodrigo Villegas Tascón**  
Representante de los cultivadores  
afiliados a Asocaña

**Guido Mauricio López Ochoa**  
Presidente Junta Directiva  
Procaña

### Suplentes

**Jorge Santiago Arango Franco, Q.E.P.D.\***  
Vicepresidente de Campo  
Incauca S.A.

**Guillermo Ramírez Chávez**  
Vicepresidente de Operaciones Agrícolas  
Riopaila Castilla S.A.

**Germán Jaramillo Villegas**  
Asesor Directivo  
Ingenio La Cabaña S.A.

**César Augusto Arango Isaza**  
Gerente General  
Ingenio Risaralda S.A.

**Mauricio Irigorri Rizo**  
Gerente General  
Ingenio Mayagüez S.A.

**Bernardo Silva Castro**  
Representante de los cultivadores  
afiliados a Asocaña

**Carlos Hernando Azcárate Tascón**  
Vicepresidente Junta Directiva  
Procaña

## Comités de la Junta

---

### Comité Ejecutivo

Presidente  
**Luis Fernando Londoño Capurro**  
Presidente  
Asocaña

### Comité de Programas

Presidente  
**Gustavo Medina Vargas**  
Director División de Campo, Cosecha y  
Maquinaria Agrícola. Ingenio La Cabaña S.A.

---

(\*) Falleció el 1 de noviembre de 2011

## Comités de Investigación

---

### Comité de campo

Presidente

**Camilo Arturo Jaramillo Marulanda**

Líder Equipo de Campo. Ingenio María Luisa S.A.

### Comité de fábrica

Presidente

**John Jairo Rodríguez**

Gerente de Fábrica. Riopaila Castilla S.A.

### Comité de cosecha

Presidente

**Raúl Buenaventura Cobo**

Gerente de Cosecha. Ingenio Mayagüez S.A.

## Cenicaña 2011

---

**Álvaro Amaya Estévez**

Director General

**Nohra Pérez Castillo**

Directora Administrativa

**Jorge Ignacio Victoria Kafure**

Director Programa de Variedades

**Javier Alí Carbonell González**

Director Programa de Agronomía

**Nicolás Javier Gil Zapata**

Director Programa de Procesos de Fábrica

**Nohra Pérez Castillo**

Jefe (E) Servicio de Análisis Económico  
y Estadístico

**Camilo H. Isaacs Echeverri**

Jefe Servicio de Cooperación Técnica  
y Transferencia de Tecnología

**Adriana Arenas Calderón**

Jefe Servicio de Información y Documentación

**Einar Anderson Acuña**

Jefe Servicio de Tecnología Informática

**Luis Eduardo González Buriticá**

Superintendente (E)  
Superintendencia de la Estación Experimental

# Ciencia y tecnología

productividad y crecimiento sostenible





# Misión

Contribuir al desarrollo, la competitividad y la sostenibilidad del sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia, mediante la generación de conocimiento y la innovación tecnológica, a través de la investigación, la transferencia de tecnología y la prestación de servicios especializados, con base en un sistema integrado de gestión, para que el sector sobresalga en el mejoramiento socioeconómico y en la conservación ambiental de las zonas productoras de caña de azúcar.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

# Visión

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

Corporación privada, sin ánimo de lucro, fundada en 1977  
por iniciativa del sector azucarero colombiano

# Valores organizacionales

Coherencia, integridad, lealtad, respeto y responsabilidad



# Contenido

Informe Anual 2011

Cenicaña. Investigación y desarrollo para la región y el país	2
Innovación para la competitividad. Informe del Director General	4
Comportamiento del clima en el valle del río Cauca, 2011	13
Producción de caña y azúcar y censo de variedades, 2011	19
AEPS®. Agricultura Específica por Sitio	27
CATE. Corte de caña, Alce, Transporte y Entrega de la materia prima a la fábrica	39
Programa de Variedades	45
Programa de Agronomía	61
Programa de Procesos de Fábrica	75
Servicio de Análisis Económico y Estadístico	89
Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología	99
Servicio de Tecnología Informática	107
Servicio de Información y Documentación	109
Superintendencia de la Estación Experimental	111
Servicios especializados	111
Anexo	113
Referencias bibliográficas	125
Acrónimos, siglas y abreviaturas	127

# Cenicaña



**Carlos Alberto Martínez Cruz**  
Gerente del Ingenio Sancarlos S.A.

Ampliamente reconocido tanto nacional como internacionalmente, Cenicaña se ha convertido en el referente de los centros de investigación de nuestro país.

Los valiosos aportes de Cenicaña a la agroindustria de la caña de azúcar hoy se traducen en producción de azúcar, etanol y energía eléctrica con los más altos parámetros de calidad y eficiencia en el manejo de los recursos, menor impacto ambiental, mayor productividad por unidad de área, nuevas variedades, agricultura específica por sitio, y en general todo lo que hace de este sector un ejemplo a seguir.

Nuevos retos debe afrontar Cenicaña. El estudio y análisis de los datos históricos de las principales variables climatológicas en el valle geográfico del río Cauca nos permitirán con mayor precisión conocer su comportamiento para afrontar la cadena productiva, desde la siembra de la caña hasta el proceso fabril. Necesidad prioritaria es también el desarrollo de un paquete tecnológico específico que permita reducir el daño a las características físicas y estructurales de los suelos durante el proceso de cosecha en ambientes húmedos y las prácticas agrícolas posteriores, para evitar reducciones drásticas en la productividad de las plantaciones.

Proyectos enfocados en el sistema de corte, alce y transporte y las tecnologías de agricultura específica por sitio que se están llevando a cabo en Cenicaña hacen parte de este proceso y deberán seguirse apoyando y desarrollando para adoptar aquellos que muestren los mejores resultados, como vagones que produzcan mínimos daños cuando las condiciones no son adecuadas; prácticas que permitan incrementar la densidad de la caña en los vagones y con ello disminuir los costos de esta actividad; variedades adaptadas a diferentes condiciones de humedad y muchos otros.

Seguramente también afrontaremos en los años venideros condiciones de reducción de agua según los requerimientos de las plantaciones. Consciente de ello, Cenicaña ha brindado importantes aportes para mejorar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, y avanza en ese sentido para poder implementar prácticas específicas para los diferentes tipos de suelo que presenta nuestra zona cañera en el valle del río Cauca.

# Investigación y desarrollo para la región y el país

Cobra vital importancia el desarrollo de variedades genéticamente preparadas para afrontar esas condiciones extremas y mantener un nivel adecuado de productividad y rentabilidad. En este aspecto es amplia la oferta de Cenicaña de variedades mejoradas, y su propagación ha sido factor decisivo en la productividad que lidera el sector azucarero en Colombia. Este es el resultado del Centro y debe continuar con el apoyo del sector.

Los centros de investigación y desarrollo deben seguir contando con el apoyo decidido del sector privado, condición que ha sido nuestra constante en Colombia y que todos esperaríamos sea adoptada en mayor proporción por el Estado que tímidamente dedica presupuestos que no se comparan a los que otros países han venido destinando en las últimas décadas. En Colombia solo el 0.6% del PIB es destinado a la investigación y desarrollo, contra cifras superiores al 2.5% de otros países con mayor desarrollo, donde el Estado participa activamente con la conciencia clara del inmenso retorno que tiene esta inversión, representado en mejoramiento en la calidad de vida, procesos productivos sostenibles, esquemas claros de responsabilidad social empresarial, conservación del medio ambiente, entre otros aspectos. No es tarde para invitar a los gremios, los gobiernos locales y nacional, la empresa privada y las universidades para que apoyemos nuestros Centros de Investigación y Desarrollo, dentro de los cuales se encuentran las posibles soluciones a los problemas que hoy nos aquejan como el cambio climático, tan conocido y vivido por nuestro sector que ha dejado su huella en las enormes pérdidas económicas para nuestra región y para el país en general. ●

Complejo volcánico nevado del Huila visto desde el municipio de Villa Rica en el departamento del Cauca. Noviembre de 2011.



# Innovación para la competitividad



Álvaro Amaya Estévez  
Director General de Cenicaña

## Entorno

El progreso y la proyección del sector azucarero colombiano se fundamentan en su capacidad innovadora y en el nivel de competitividad frente a otras industrias. El Foro Económico Mundial considera como países o sectores altamente competitivos aquellos que tienen como base de su desarrollo la innovación y un alto grado de tecnificación en sus negocios.

En relación con la innovación, gracias a la inversión del sector productivo los resultados obtenidos en Cenicaña y los que están en desarrollo han dado gran competitividad al sector, con oportunidades de mejoramiento, lo cual será posible con la acción decidida e integral de ingenios y cultivadores con miras a adoptar en mayor grado las tecnologías disponibles.

Respecto de la tecnificación del negocio, serán factores que contribuirán a lograr las metas del sector para el año 2030 la creatividad, el mejoramiento y el control de calidad de los procesos productivos, el valor agregado a su materia prima y subproductos y la capacitación.

Ahora bien, el desarrollo y la productividad del sector azucarero dependen de aspectos como el conocimiento, la información, la infraestructura, los recursos económicos y humanos, controlables en gran medida; pero también inciden en ellos factores aleatorios como el clima y los mercados, entre otros.

La heterogeneidad de los suelos, las variaciones climáticas, el manejo agronómico y el hecho de practicar la cosecha todo el año generan grandes variaciones en la productividad. En esas circunstancias la adopción de la agricultura específica por sitio contribuye a afrontar los efectos de este escenario complejo.

Los resultados de la innovación tecnológica en la productividad deben evaluarse con base en los avances y tendencias de varios años. Así, en el período 1990-2011 el tonelaje de caña por hectárea y mes en las zonas secas-semisecas del valle del río Cauca mostró una tendencia positiva. En las zonas húmedas y de piedemonte la tendencia ha sido estable pero con una variabilidad mayor; en estas condiciones el reto es reducir la variabilidad e incrementar la productividad utilizando la agricultura específica por sitio.

# Informe del Director General

El porcentaje de rendimiento en azúcar ha sido ascendente en las zonas secas-semisecas y de piedemonte, y estable en las zonas húmedas. En este sentido, el reto continúa siendo la búsqueda de variedades de mayor contenido de sacarosa y la flexibilidad de la cosecha centrada en los campos con mejor maduración.

El clima en los últimos años no ha sido benigno en la región azucarera. La precipitación promedio de los años 2008, 2010 y 2011 fue de 1951 mm, valor que superó en un 27% la media histórica. Esto incrementó la saturación de humedad de los suelos, y los drenajes disponibles fueron insuficientes para evacuar el exceso de agua, lo cual generó las inundaciones que afectaron al sector en el segundo semestre de 2011. En el año, 10,727 hectáreas se inundaron, lo cual arrojó pérdidas del cultivo en 2331 de ellas.

Este panorama incidió negativamente en las labores de cosecha, en el levantamiento de las plantaciones y en la maduración de la caña. El rezago de los impactos de “La Niña” de 2010 se reflejó en el descenso de la productividad en el 2011. A pesar de ello, la producción promedio de 122 toneladas de caña por hectárea y 11.3% de rendimiento en 2011 fueron superiores a los de 2010.

Aurora tropical vista desde el corregimiento de El Bolo, San Isidro, municipio de Palmira, Valle del Cauca. Junio de 2011.



## Planeación estratégica y proyección al 2030

La visión del sector azucarero para el año 2030 es ubicarlo en un puesto de privilegio a escala mundial. La planeación estratégica de Cenicaña para el desarrollo de la investigación y la transferencia de tecnología se enmarca dentro de dicho propósito, y para el efecto está empeñada en el mejoramiento de los indicadores de productividad, sostenibilidad y gestión de los procesos operativos del Centro.

Las metas de productividad del sector azucarero proyectan mejoramientos a corto, mediano y largo plazo (años 2014, 2019 y 2030). Para el 2030 se espera haber logrado un incremento del 21% en rendimiento y del 66% en el tonelaje de azúcar por hectárea y mes en relación con los valores promedio de la década previa al año 2009. Para cumplir las metas de corto plazo el sector cuenta hoy con variedades de caña de azúcar de mayor productividad que la variedad comercial CC 85-92 y con tecnologías para un mejor manejo del cultivo y de los procesos industriales. La tecnología para mediano-largo plazo se encuentra actualmente en desarrollo.

El análisis de resultados con la adopción de las tecnologías de campo disponibles y validadas en fincas donde se han comparado en similares condiciones la tecnología convencional y la recomendada por Cenicaña indica que las metas en el corto plazo se pueden alcanzar siempre y cuando el sector las adopte en mayor escala.

Para lograr este propósito es indispensable un plan ordenado de multiplicación de variedades para la renovación de plantaciones acorde con el enfoque de la agricultura específica por sitio, y complementar el actual sistema de transferencia de tecnología con un servicio de extensión agrícola que apoye el seguimiento a la siembra y renovación de plantaciones y el manejo agronómico del cultivo. Estas dos estrategias se llevarán a efecto en 2012.



Día de campo con productores de caña de azúcar. Parcelas de seguimiento de variedades promisorias.

## Avances

En el 2011 el Centro avanzó en el desarrollo de tecnologías específicas para los procesos de cosecha y transporte de caña, así como para el mejoramiento de la producción de azúcar y etanol y la generación de energía. Igualmente, prestó especial atención a lo relacionado con el manejo ambiental.

Cenicaña ha desarrollado variedades más productivas que las sembradas actualmente en las diferentes zonas agroecológicas y brinda orientación para la aplicación de la agricultura específica por sitio según las condiciones propias de cada zona. Así mismo, como producto de sus investigaciones brinda recomendaciones para la mejor operación de las fábricas de azúcar y etanol y tiene un plan concreto de transferencia de sus nuevas tecnologías. Información sobre estos avances se incluye en el presente informe.

## Variedades de caña de azúcar

Las variedades de mayor adopción en zonas secas-semisecas son la CC 93-4418, cosechada en 3674 hectáreas, y la CC 93-4181, cosechada en 1002 hectáreas, las cuales presentaron producciones de caña superiores entre 5% y 20% en relación con la CC 85-92 en las zonas agroecológicas recomendadas. El contenido de sacarosa de la CC 93-4418 fue similar o superior a la CC 85-92.

En zonas húmedas la variedad más sobresaliente es la CC 01-1940, sembrada en aproximadamente 800 hectáreas, de las cuales se cosecharon 80 en 2011. Los resultados obtenidos en plantilla para TCHM son superiores entre 25-31% a las producciones históricas obtenidas con las variedades cultivadas previamente en la misma suerte. Para TAHM la ventaja fluctuó entre 21-30%. Los resultados anteriores se validaron en condiciones húmedas en una zona agroecológica 10H4, en la que se comparó el manejo con agricultura específica por sitio (AEPS) y con agricultura convencional. En condiciones de AEPS la variedad CC 01-1940 produjo 13 toneladas adicionales de caña y mostró 0.2 unidades más de rendimiento y una reducción de costos del 18% en relación con la variedad CC 85-92 y el manejo agronómico convencional. Lo anterior indica que el mejoramiento de la productividad dependerá de la adopción de las nuevas variedades y del manejo agronómico del cultivo de acuerdo con las recomendaciones de la agricultura específica por sitio.

## Manejo agronómico

El balance hídrico es la herramienta disponible para la programación de los riegos y el uso eficiente del agua. La investigación en esta área determinó los valores de precipitación efectiva que recibe el cultivo, lo cual es necesario para ajustar el balance hídrico.

El riego con caudal reducido continúa en validación en zonas planas, aunque los resultados iniciales en estas áreas confirman las ventajas obtenidas en el piedemonte, lo cual indica que esta tecnología es apta para mejorar la eficiencia en el uso del agua y la fertilización con fertirriego también en aquellas zonas.

El uso del compost con la vinaza como uno de sus componentes y madurado por períodos apropiados como complemento de la fertilización es una opción comprobada para aumentar la productividad de la caña de azúcar. Resultados de dos cortes en el Ingenio Risaralda muestran incrementos de aproximadamente una tonelada de azúcar por cada tonelada de este compost adicionado al suelo. Los estudios de la viabilidad económica para su uso en mayor escala se encuentran en desarrollo.

Los resultados de los estudios relacionados con el tráfico de los equipos de cosecha y su impacto en la productividad confirmaron la conveniencia de utilizar equipos más livianos y marcaron pautas para el diseño de los campos para la cosecha mecanizada y su logística.

## Procesos de fábrica

La investigación y validación de nuevas tecnologías con el apoyo de Cenicaña y la capacitación en su uso y su transferencia ha contribuido decisivamente al mejoramiento de los procesos industriales de producción de azúcar, etanol y energía.

Los efectos adversos del clima se reflejan también en los procesos industriales. En tal sentido se evaluó y caracterizó el grado de hidrólisis de varios floculantes que contribuyen a una mejor clarificación en condiciones de alto contenido de impurezas. De otra parte, se caracterizaron los factores que mayor incidencia tienen en las pérdidas por sacarosa en condiciones de cosecha mecanizada y mayor presencia de materia extraña. Respecto a la evaluación de agentes para la conversión de la celulosa a compuestos de valor agregado se identificaron hongos nativos con capacidad de desdoblar la celulosa a azúcares fermentables como sustrato para la producción de etanol y levaduras nativas para la producción de xilitol.



Gestión tecnológica y acompañamiento en plantas de producción de azúcar y etanol.

Variedades de caña de azúcar seleccionadas para cruzamientos.



## Apoyo tecnológico al sector

Adicional a sus actividades misionales, Cenicaña presta apoyo al sector azucarero con la participación de sus investigadores en proyectos liderados por Asocaña en temas como el agua, la energía, el manejo ambiental y la capacitación.

En este sentido, la experiencia del sector en la producción de caña y etanol es un referente para otras zonas de Colombia. Durante 2011 finalizó el estudio realizado por Cenicaña en nueve sitios de Colombia con el objetivo de caracterizar zonas potenciales para la producción de etanol y evaluar en dichos sitios la adaptación de las variedades desarrolladas para la zona azucarera. Los resultados de productividad en condiciones de la altillanura y de la costa norte de Colombia muestran a estas dos zonas como las más promisorias.

Respecto a las variedades, el estudio indica que algunas de las adaptadas y más cultivadas en la zona azucarera, cuando son sembradas en la altillanura y en la costa caribe colombiana son altamente susceptibles a enfermedades o plagas, y su cultivo masivo en áreas no tradicionales incrementa su susceptibilidad a enfermedades o plagas. Afortunadamente, otras variedades Cenicaña Colombia muestran buena productividad y resistencia a las enfermedades en las nuevas zonas vinculadas al cultivo. Evaluaciones preliminares en las condiciones de la altillanura basadas en la experiencia del manejo del cultivo en la zona azucarera, pero ajustadas a las características agroclimáticas de dicha región, indican que existe un potencial para mejorar la producción de caña y etanol y la productividad.

En nombre del personal de Cenicaña agradezco a los ingenios y cultivadores su participación y apoyo para la ejecución de los proyectos reportados en este informe. Los retos del sector al 2030 serán alcanzables con la decidida participación de todos. ●



El cuidado del agua, un compromiso vital





***“Arreboles al poniente, aguacero al día siguiente”***

Refrán popular en el valle del río Cauca, Colombia

De acuerdo con el análisis de los datos registrados en las 34 estaciones de la Red Meteorológica Automatizada se puede decir, en términos generales, que en el valle del río Cauca el 2011 fue un año muy lluvioso, de radiación solar y evaporación bajas y relativamente frío.

# Comportamiento del clima, 2011

## Condiciones “Niño-Niña” en el océano Pacífico tropical

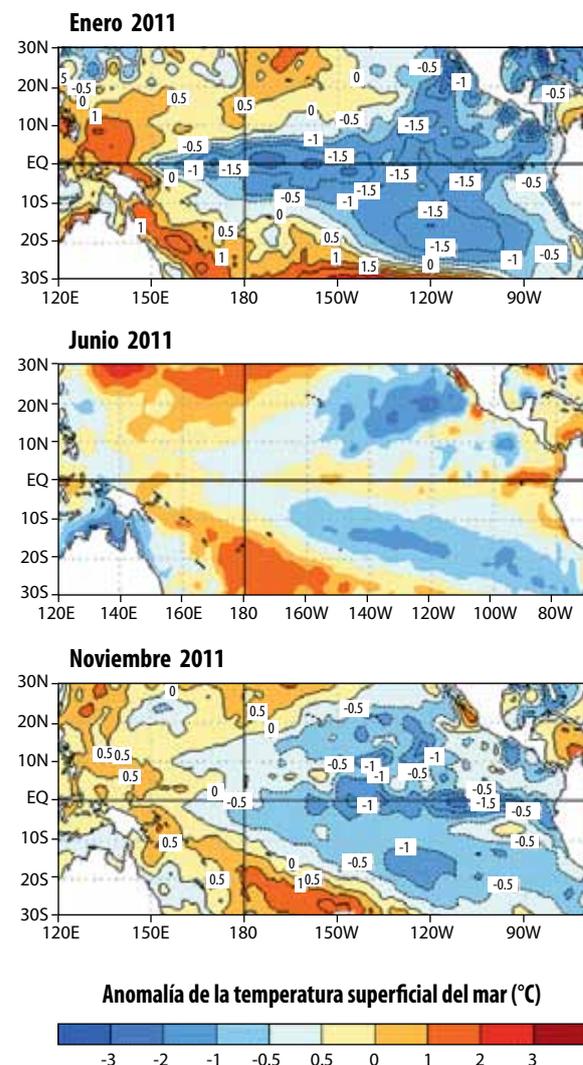
Desde enero de 2011 comenzó a debilitarse en el océano Pacífico tropical el fenómeno “La Niña”, que había empezado en julio de 2010 y que había presentado su máximo desarrollo entre octubre y diciembre del mismo año, cuando la anomalía media de la temperatura superficial del mar fue igual a  $-1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Esta “Niña” fue considerada de magnitud moderada.

Para mayo dicho fenómeno había desaparecido y desde entonces hasta septiembre las condiciones en esa cuenca oceánica fueron normales, aunque en agosto se inició de nuevo el enfriamiento de las aguas superficiales.

En octubre reaparecieron condiciones “Niña”, o sea, anomalías negativas de la temperatura superficial del mar (valores iguales o inferiores a  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), las cuales fueron intensificándose paulatinamente hasta finalizar el año, tanto por su valor como por el área ocupada. Así, de continuar las condiciones frías al menos por otros dos meses, en el inicio de 2012 se tendría un nuevo fenómeno “La Niña”.

La descripción de la condición térmica del océano Pacífico tropical en enero, junio y noviembre de 2011 se ilustra en la **Figura 1**.

Figura 1. Anomalía media mensual de la temperatura superficial del océano Pacífico tropical.



Fuente: NOAA.

## Particularidades del clima durante 2011

En los primeros meses del 2011, desde enero hasta abril, el clima en el valle del río Cauca estuvo influenciado por una "Niña" en proceso de debilitamiento y desaparición. Entre mayo y agosto el clima en la región fue gobernado por condiciones normales en el Pacífico tropical, cuenca oceánica donde se hicieron presentes, de nuevo, a partir de septiembre el enfriamiento y a partir de octubre las condiciones "Niña".

Bajo la influencia de estas condiciones externas, predominantemente frías a comienzos y finales del año pero normales hacia mediados del período, durante 2011 en el valle del río Cauca tuvo lugar una gran variabilidad climática entre los diferentes meses, los diferentes trimestres y las diferentes temporadas pluviométricas.

En el primer semestre y el cuarto trimestre de 2011 las anomalías de las variables climatológicas fueron bastante significativas. Sólo en el tercer trimestre la mayoría de ellas presentaron un comportamiento cercano al acostumbrado para esa época del año, con excepción de la oscilación de la temperatura, que precisamente entre julio y septiembre registró las mayores variaciones (positivas) del año.

El clima en el valle del río Cauca en febrero, abril, octubre y diciembre se caracterizó, en general, por valores bajos o muy bajos de los componentes energético y térmico, mientras que los componentes hídrico e higróico del clima mostraron valores altos o muy altos. Lo contrario sucedió en enero, agosto, septiembre y noviembre, cuando los componentes energético y térmico del clima mostraron valores altos o muy altos, al tiempo que los componentes hídrico e higróico mostraron valores bajos o muy bajos.

### COMPONENTES DEL CLIMA

**Energético** radiación solar y evaporación

**Térmico** temperaturas y oscilación de temperatura

**Hídrico** precipitación atmosférica y número de días con precipitación

**Higróico** humedad relativa del aire

De acuerdo con el análisis de los datos reportados en el período 1994-2011 por las 34 estaciones de la Red Meteorológica Automatizada (RMA) se puede decir, en términos generales, que 2011 fue un año muy lluvioso, de radiación solar y evaporación bajas y relativamente frío.

Las variables climatológicas se pueden clasificar de la siguiente manera, según los valores que presentaron durante 2011 (**Cuadro 1 y Figuras 2 y 3. Anexo, página 114**):

- Temperatura mínima absoluta y temperatura mínima media: los valores más bajos de todo el período (12.3 °C y 18.5 °C, respectivamente).
- Temperatura media diaria y temperatura máxima media: para cada variable, el quinto valor más bajo (22.8 °C y 29.4 °C, respectivamente) luego de 1999, 2000, 1996 y 2008.
- Temperatura máxima absoluta: tercer valor más bajo (35.8 °C) luego de 1999 y 1994.
- Precipitación atmosférica: tercer valor más alto (1636 mm) luego de 2008 y 2010.
- Número de días con precipitación: tercer valor más alto (204 días) luego de 2008 y 1999.
- Evaporación: quinto valor más bajo (1558 mm) luego de 2000, 1999, 2005 y 2010.
- Radiación solar media diaria: valor igual a 394 cal/(cm<sup>2</sup> x día), el tercero más bajo luego de 2010 y 2000.

Cuadro 1. Condiciones climáticas en el valle del río Cauca. Resumen de valores medios y extremos. Años 2010 y 2011 *versus* año climatológico del período 1994-2011.

Variable climatológica	Semestre 1			Semestre 2			Año		
	2010	2011	Clima	2010	2011	Clima	2010	2011	Clima
Temperatura mínima absoluta (°C)	15.0	14.2	12.8	14.1	12.3	12.3	14.1	12.3	12.3
Temperatura mínima media (°C)	19.4	18.7	19.0	18.6	18.3	18.6	19.0	18.5	18.8
Temperatura media del aire (°C)	23.9	22.8	23.2	22.4	22.7	23.0	23.1	22.8	23.1
Temperatura máxima media (°C)	30.5	29.4	29.7	28.7	29.4	29.6	29.6	29.4	29.7
Temperatura máxima absoluta (°C)	37.0	35.0	37.8	37.8	35.8	39.2	37.8	35.8	39.2
Oscilación media diaria de temperatura (°C)	11.1	10.6	10.6	10.1	11.0	11.0	10.6	10.8	10.8
Humedad relativa media (%)	79	81	81	83	80	80	81	81	80
Precipitación (mm)	635	805	697	1009	832	599	1644	1637	1296
Días con precipitación (No.)	79	104	93	122	101	89	201	204	181
Evaporación (mm)	829	763	793	720	795	828	1549	1158	1620
Radiación solar media diaria [cal/(cm <sup>2</sup> x día)]	407	393	411	371	395	412	389	394	411

Durante el cuarto trimestre de 2011, al igual que durante el mismo período de 2010, se presentaron excesos considerables de precipitación y del número de días con precipitación en el valle del río Cauca.

Las anomalías trimestrales de precipitación alcanzaron prácticamente el 200% (el doble) de los respectivos valores medios trimestrales multianuales (**Figura 4**), mientras que las anomalías mensuales llegaron prácticamente hasta el 300% (el triple) de los respectivos valores medios mensuales multianuales.

Esta situación ocasionó el desbordamiento de varios ríos en la región, y como consecuencia de esto, la inundación de vastas áreas dedicadas a la agricultura. Según cifras dadas por el censo realizado por Asocaña, durante el cuarto trimestre de 2011 un poco más de 10,600 hectáreas sembradas en caña de azúcar se vieron afectadas por inundaciones, de las cuales, por estimaciones preliminares, aproximadamente 4000 hectáreas presentaron pérdida total del cultivo. ●

Figura 2. Temperatura del aire. Valores anuales promedios y extremos *versus* los climatológicos respectivos para el período 1994-2011.

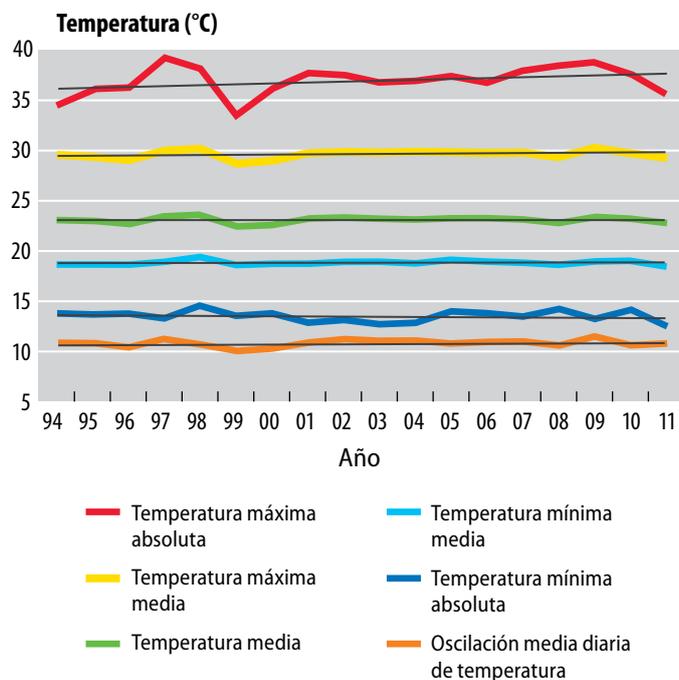
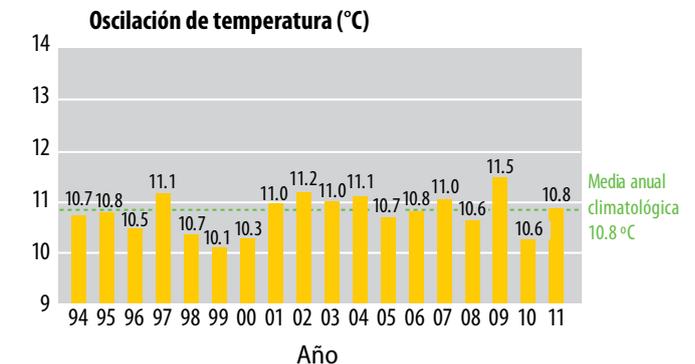
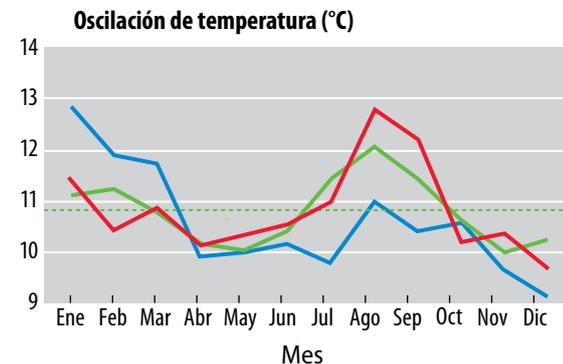
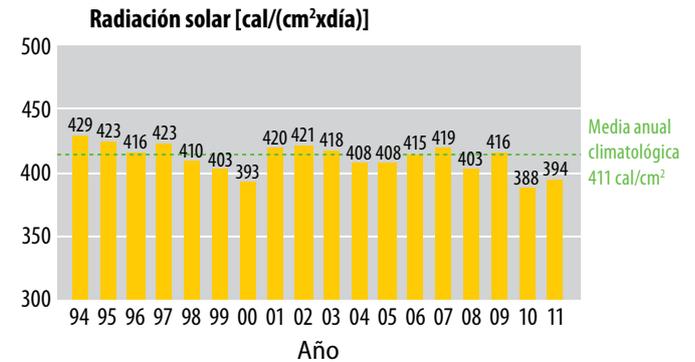
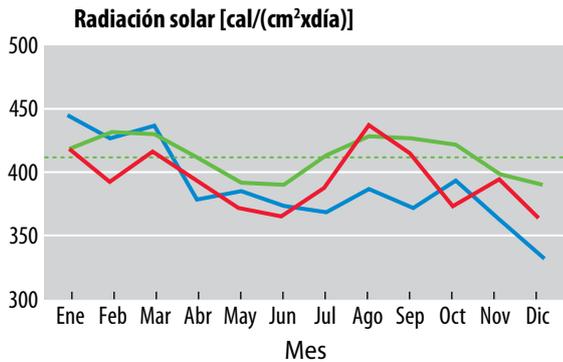
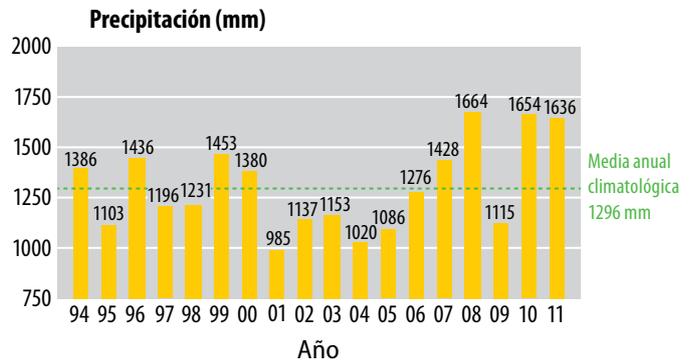
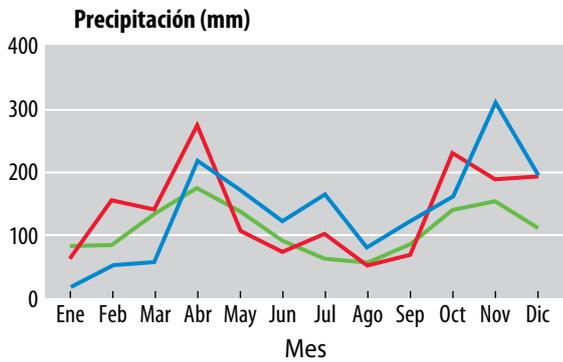


Figura 3. Precipitación atmosférica, radiación solar media diaria y oscilación media diaria de temperatura. Izquierda: valores mensuales años 2010 y 2011 *versus* medias mensuales climatológicas del periodo 1994-2011. Derecha: valores anuales del periodo 1994-2011.



— 2010 — 2011 — Media mensual climatológica

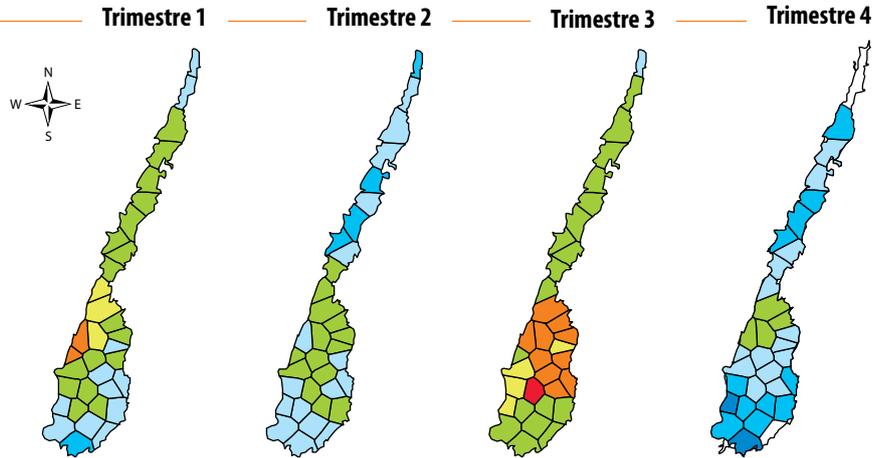
Fuente: Cenicaña. Red Meteorológica Automatizada (RMA). Treinta y cuatro estaciones en el valle del río Cauca.

Figura 4. Precipitación atmosférica. Medias históricas, climatológicas y anomalías. Promedio para cada una de las estaciones de la Red Meteorológica Automatizada en el valle del río Cauca.

**Precipitación**

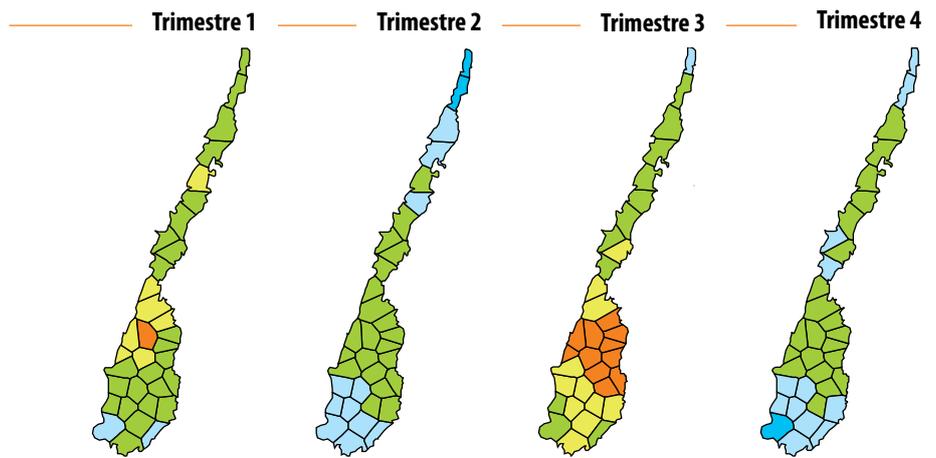
**Valores históricos**  
Año 2011

- ≤ 100 mm Extrema baja
- 101-150 mm Muy baja
- 151-200 mm Baja
- 201-399 mm Normal
- 400-599 mm Alta
- 600-789 mm Muy alta
- ≥ 800 mm Extrema alta



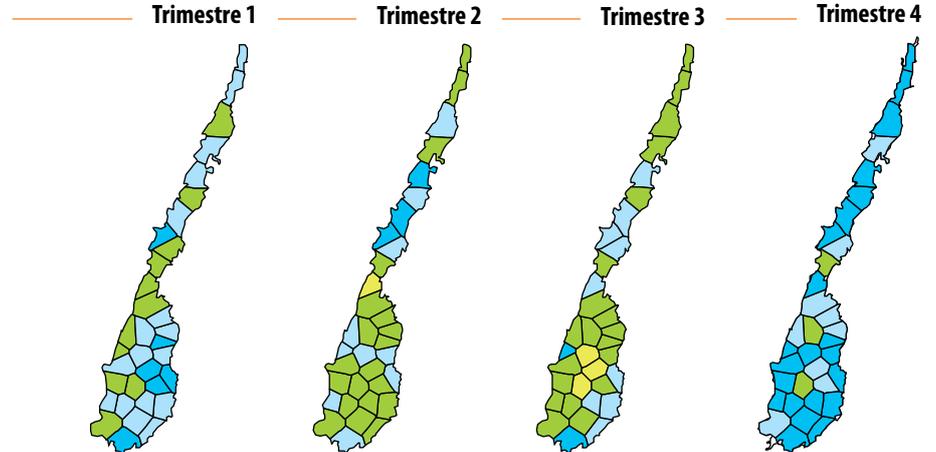
**Valores medios climatológicos**  
Período 1994-2011

- ≤ 100 mm Extrema baja
- 101-150 mm Muy baja
- 151-200 mm Baja
- 201-399 mm Normal
- 400-599 mm Alta
- 600-789 mm Muy alta
- ≥ 800 mm Extrema alta



**Anomalías de la precipitación**  
2011 versus período 1994-2011

- ≤ 25 mm Extrema baja
- 26-50 mm Muy baja
- 51-80 mm Baja
- 81-119 mm Normal
- 120-149 mm Alta
- 150-199 mm Muy alta
- ≥ 200 mm Extrema alta



**En 1997 la variedad CC 85-92 fue registrada como la tercera más sembrada en el sector azucarero colombiano.**

Dos años después se convirtió en la variedad principal, la preferida de los agricultores del valle del río Cauca para las nuevas siembras. En el censo de 2011 el porcentaje de participación de la variedad en el área sembrada por la agroindustria disminuyó con respecto al año anterior, luego de catorce años de crecimiento continuo.



# Producción de caña y azúcar, 2011

## Acerca de los datos

El análisis de los resultados de productividad que se presenta a continuación se basa en los datos suministrados por los ingenios Carmelita, Central Tumaco, Incauca, La Cabaña, María Luisa, Manuelita, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Riopaila Castilla (dos plantas), Risaralda y Sancarlos acerca de la caña de azúcar cosechada en las tierras propias y en tierras de proveedores de caña.

Los resultados de campo y los totales de caña molida y azúcar producido corresponden a los datos de los trece ingenios mencionados. Los demás resultados industriales se refieren a los promedios y totales de doce ingenios (excepto Central Tumaco), cinco de ellos con producción dual de azúcar y etanol (Incauca, Manuelita, Mayagüez, Providencia y Risaralda).

De acuerdo con el análisis comparativo de veinte indicadores entre los años 2010 y 2011 los resultados generales muestran diferencias positivas para el último año en catorce indicadores y diferencias negativas en cinco. Un indicador no tuvo cambios.

En relación con el comportamiento del clima se puede decir, en términos generales, que 2011 fue un año muy lluvioso, de radiación solar y evaporación bajas y relativamente frío en el valle del río Cauca. El clima regional estuvo influido en el primer trimestre por el fenómeno de "La Niña" registrado en el océano Pacífico tropical; en el segundo, por condiciones normales; en el tercero, por el enfriamiento de las aguas superficiales, y en el cuarto trimestre, por condiciones "Niña". Así, en general, el año se puede caracterizar por una condición climática externa "Niña".



**Área sembrada con CC 93-4418**  
en el valle del río Cauca, diciembre 2011

**8168**  
HECTÁREAS

En los dos primeros trimestres de 2011 y en el cuarto, la precipitación estuvo por encima de los valores acostumbrados; los valores de radiación solar fueron inferiores a los normales en todos los trimestres, y los de oscilación de temperatura, superiores en el primer trimestre y el tercero, e inferiores en el segundo trimestre y el cuarto.

La cantidad de lluvia en 2011 (1636 mm) fue muy similar a la que se registró en 2010 (1644 mm), de modo que las precipitaciones continuas causaron en el primer semestre de 2011 inundaciones en 13,790 hectáreas cultivadas con caña de azúcar en el valle del río Cauca, y en el segundo semestre en 10,438 hectáreas, según los reportes de Asocaña. Entre julio y diciembre de 2010 el área inundada llegó a 13,260 hectáreas.

## Análisis descriptivo

De acuerdo con el comparativo de los indicadores de productividad en los años 2010 y 2011 se concluye lo siguiente (**Cuadro 2**):

- Al 31 de diciembre de 2011 había en el valle del río Cauca un área de 223,905 hectáreas sembradas con caña de azúcar para la producción de azúcar y etanol, de las cuales 180,692 hectáreas fueron cosechadas a lo largo del año.
- La caña de azúcar estaba distribuida en 24,752 suertes (lotes) y al momento de la cosecha tenía en promedio alrededor de 14.0 meses de edad y 5.4 cortes. El 91% del área cosechada correspondía a las variedades CC 85-92, CC 84-75, V 71-51 y CC 93-4418.
- Los ingenios molieron un total de 22'603,499 toneladas de caña y produjeron 2'573,650 toneladas de azúcar, cifras superiores en 12.2% y 13.4%, respectivamente, en comparación con 2010.
- La producción total de etanol fue de 336'953,000 litros en 2011 (336,953 m<sup>3</sup>). Creció 17.4% debido al aumento de la capacidad en las destilerías de Mayagüez y Providencia desde comienzos de 2011 y a la mayor producción en Incauca.
- Los siguientes indicadores mostraron en 2011 incrementos con respecto a 2010: área sembrada (5594 ha más), área cosechada (8272 ha), número de suertes cosechadas (1804 suertes), edad de corte (1.6 meses), toneladas de caña y azúcar por hectárea (7.5 TCH y 0.9 TAH), porcentaje de rendimiento comercial de azúcar (0.2 unidades), porcentaje de pérdidas de sacarosa en bagazo (4.19%), porcentaje de fibra industrial en caña (0.52 unidades), porcentaje de sacarosa en caña (0.09 unidades), porcentaje de rendimiento real de azúcar con base en 99.7% pol (0.12 unidades), miles de litros de etanol anhidro (17.4%), toneladas totales de caña molida y azúcar producido (12.2% y 13.4%).
- Los indicadores que descendieron en 2011 respecto a 2010 fueron: toneladas de caña y azúcar por hectárea y mes (-0.40 TCHM y -0.04 TAHM), porcentaje de pérdidas de sacarosa en miel final y en cachaza (-0.24 unidades y -0.04 unidades) y porcentaje de pérdidas de sacarosa indeterminadas (-0.11 unidades).
- El promedio de número de corte no tuvo variación en 2011 respecto a 2010.

### DESCRIPCIÓN

## DE INDICADORES

**Rendimiento comercial:** porcentaje (%) de azúcar (en peso) recuperado por tonelada de caña molida. Resultado promedio ponderado por las toneladas totales de caña molida.

**Toneladas totales de caña molida:** comprende la caña en existencia en patios más la caña que entra durante el período menos el saldo en patios al finalizar el período (existencias + caña entrada – saldo patios).

**Toneladas totales de azúcar producido:** suma de las toneladas totales de las diferentes clases de azúcar producido. Incluye el azúcar crudo equivalente de jugos y mieles destinados a la producción de etanol.

**Rendimiento real:** porcentaje (%) de azúcar neto (en peso) obtenido por tonelada de caña molida, en donde el azúcar neto corresponde al azúcar elaborado y empacado más la diferencia de los inventarios anterior y actual del azúcar de los materiales en proceso en el período considerado (mieles, masas, magmas, meladuras y jugos). Este índice convierte todos los tipos de azúcares a una misma base de contenido de Pol 99.7° (azúcar blanco).

Cuadro 2. Indicadores de productividad. Sector azucarero colombiano. Años 2010 y 2011.

Indicador	Enero - diciembre		Diferencia 2011-2010 (%) (°C)	Desviación estándar (datos 2011)
	2010	2011		
<b>Campo</b> (datos de trece ingenios) <sup>1</sup>				
Área neta sembrada en caña (ha)	218,311	223,905	2.6	-
Área cosechada (ha)	172,421	180,692	4.8	-
Número de suertes cosechadas	22,948	24,752	7.9	-
Edad de corte (meses)	12.4	14.0	12.9	1.9
Número de corte	5.4	5.4	0.0	3.9
Toneladas de caña por hectárea (TCH)	114.6	122.1	6.5	29.1
Toneladas de caña por hectárea mes (TCHM)	9.3	8.9	-4.3	1.9
Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)	12.8	13.7	7.0	3.3
Toneladas de azúcar por hectárea mes (TAHM)	1.0	1.0	-3.8	0.229
Rendimiento comercial (%)	11.1	11.3	1.8	1.1
<b>Fábrica</b> (datos de doce ingenios) <sup>2</sup>				
Toneladas totales de caña molida	20,141,093	22,603,499	12.2	-
Toneladas totales de azúcar producido	2,269,750	2,573,650	13.4	-
Rendimiento real en base a 99.7% Pol	11.25	11.37	1.03	-
Fibra % caña	14.87	15.39	3.49	-
Sacarosa aparente % caña	12.92	13.01	0.7	-
Pérdidas sacarosa en bagazo % sacarosa caña	4.15	4.19	1.0	-
Pérdidas sacarosa en cachaza % sacarosa caña	0.68	0.64	-6.3	-
Pérdidas sacarosa indeterminadas % sac. caña	1.62	1.54	-4.7	-
Pérdidas sacarosa en miel final % sacarosa caña	6.67	6.43	-3.6	-
<b>Destilería</b> (datos de cinco ingenios) <sup>3</sup>				
Litros de etanol (miles)	286,995	336,953	17.4	-
<b>Clima</b> (datos de 34 estaciones RMA) <sup>4</sup>				
Precipitación (mm)	1644	1636	-0.5	-
Oscilación media diaria de temperatura (°C)	10.6	10.8	0.20 °C	-
Radiación solar media diaria (cal/cm <sup>2</sup> xdía)	389	394	1.2	-
Condición climática externa	Niño - Niña	Niña	-	-

1. Ingenios Carmelita, Central Tumaco, Incauca, La Cabaña, María Luisa, Manuelita, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Riopaila Castilla (dos plantas), Risaralda y Sancarlos.
2. Todas las cifras de fábrica corresponden a promedios ponderados con respecto a las toneladas totales de caña molida reportadas por doce ingenios: Carmelita, Incauca, La Cabaña, María Luisa, Manuelita, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Riopaila Castilla (dos plantas), Risaralda y Sancarlos.
3. Ingenios con producción dual de azúcar y etanol: Incauca, Manuelita, Mayagüez, Providencia y Risaralda.
4. RMA: Red Meteorológica Automatizada. Valores medios anuales multianuales de referencia (1994-2011). Precipitación: 1296 mm, oscilación media diaria de temperatura: 10.8 °C y radiación solar media diaria: 411 cal/(cm<sup>2</sup>xdía). Ver análisis del clima en la página 13.

## Observaciones

En el comparativo anual (2011-2010) se registró un aumento de las TCH y el rendimiento comercial de azúcar, y un descenso del tonelaje de caña y azúcar por hectárea y mes (TCHM y TAHM). Se incrementó la producción total de caña y azúcar, lo cual se observa como un efecto combinado de los cambios positivos del TCH, el rendimiento comercial, la edad de cosecha y el área cosechada. Los descensos de TCHM y TAHM se explican principalmente por el aumento del promedio de la edad de cosecha, que pasó de 12.4 meses en 2010 a 14.0 meses en 2011 (12.9% de diferencia).

Entre los factores que influyeron en el incremento del tonelaje en 2011 se cuentan la edad de corte, que en todos los meses fue superior respecto a 2010, y las condiciones de clima durante las cosechas realizadas en el primer semestre de 2010, que favorecieron el suelo por menor efecto en compactación y permitieron, durante los primeros meses de crecimiento de las socas, hacer las labores de cultivo oportunamente y con la calidad requerida. El clima del primer semestre de 2010, favorable para la cosecha, contribuyó con el aumento del tonelaje en las socas que fueron cosechadas durante los primeros ocho meses de 2011, en especial en los meses de enero a julio.

El rendimiento comercial de azúcar en 2011 conservó la tendencia histórica de estacionalidad, que señala mejores resultados en el segundo semestre que en el primero. El incremento promedio anual estuvo muy asociado con las condiciones de clima presentes durante 2011: en los meses de mayo a septiembre los valores de precipitación en la región azucarera fueron menores que en los mismos meses de 2010, al tiempo que la oscilación de temperatura fue mayor, mientras que la radiación solar en general fue superior en el segundo semestre de 2011. Estas condiciones climáticas de 2011 favorecieron la maduración de la caña, de forma que se consiguieron mejores rendimientos durante el año, en particular en el período de mayo a diciembre, y aumento en la eficiencia de recuperación de sacarosa en fábrica (de 86.78% en 2010 a 87.20% en 2011).

### Variedad CC 93-4418

La CC 93-4418 pasó de ocupar el 2.4% del área sembrada en 2010 al 3.6% en 2011.

Por dos años seguidos se identifica como representativa de la concentración varietal de la agroindustria azucarera colombiana.



## Variedades de caña de azúcar

**Censo de áreas sembradas.** En relación con el censo de variedades sembradas al 31 de diciembre de 2011 se destaca el aumento del área con la variedad CC 93-4418 respecto a la misma fecha del año anterior y la disminución con CC 85-92, CC 84-75 y V 71-51. Así, al finalizar el año 2011 la concentración varietal estaba compuesta, en su orden, por CC 85-92, CC 84-75, CC 93-4418 y V 71-51 (**Cuadro 3**).

Desde hacía catorce años el área sembrada con CC 85-92 no había disminuido con respecto al año precedente. Primera en área desde 1999, cuando ocupó 43,279 hectáreas (23% del área cultivada ese año), la CC 85-92 comenzó a participar en el grupo de las cuatro más sembradas en 1997, año en que se ubicó en el tercer lugar del escalafón. Desde entonces y hasta 2010 había aumentado su participación.

Por su parte, la nueva variedad CC 93-4418, que pasó de ocupar el 2.4% del área sembrada en 2010 al 3.6% en 2011, ahora se ubica en el tercer lugar del escalafón. Esta variedad ocupó en 2010 el cuarto lugar en el grupo de las cuatro más sembradas por el sector azucarero colombiano y, por lo tanto, por dos años consecutivos se identifica como representativa de la concentración varietal de la agroindustria en el valle del río Cauca. Otras variedades CC que tuvieron incrementos de área sembrada durante 2011 fueron CC 92-2198, CC 01-1940 y CC 01-1228. Las demás variedades permanecieron estables o disminuyeron su participación.

**Productividad.** Las variedades de caña de azúcar de mayor importancia en el área cosechada fueron CC 85-92, CC 84-75, V 71-51 y CC 93-4418, que se encontraban en el 91% del área (**Cuadro 4**). De acuerdo con la distribución varietal, los resultados de productividad estuvieron influidos por las variaciones registradas con la variedad CC 85-92 (70% del área cosechada). Otras variedades CC distintas a las mencionadas sumaban 57 en total y se encontraban en el 5% del área cosechada en 2011.



**Margen operacional.** En la **Figura 5** se muestra el índice de margen operacional (IMO) obtenido con 21 variedades en 18 zonas agroecológicas. Los valores más altos de IMO (cuadrante superior derecho) se consiguieron con las variedades CC 93-4418, CC 93-4181, CC 98-72, CC 92-2804, CC 93-3895, CC 091-746 y CC 93-3826 en las zonas agroecológicas de condiciones semisecas 18H1, 6H1, 30H1, 11H1, 15H1, 11H2 y 11H0. Los resultados más bajos de IMO (cuadrante inferior izquierdo) correspondieron a las variedades CC 84-75, CC 85-92 y CC 93-3895 en las zonas agroecológicas caracterizadas por condiciones húmedas 5H5, 5H4, 10H5, 11H3 y 10H4. ●

**Cuadro 3.** Participación de las variedades comerciales y semicomerciales en el área sembrada.  
 Datos de doce ingenios, 2010 y 2011.

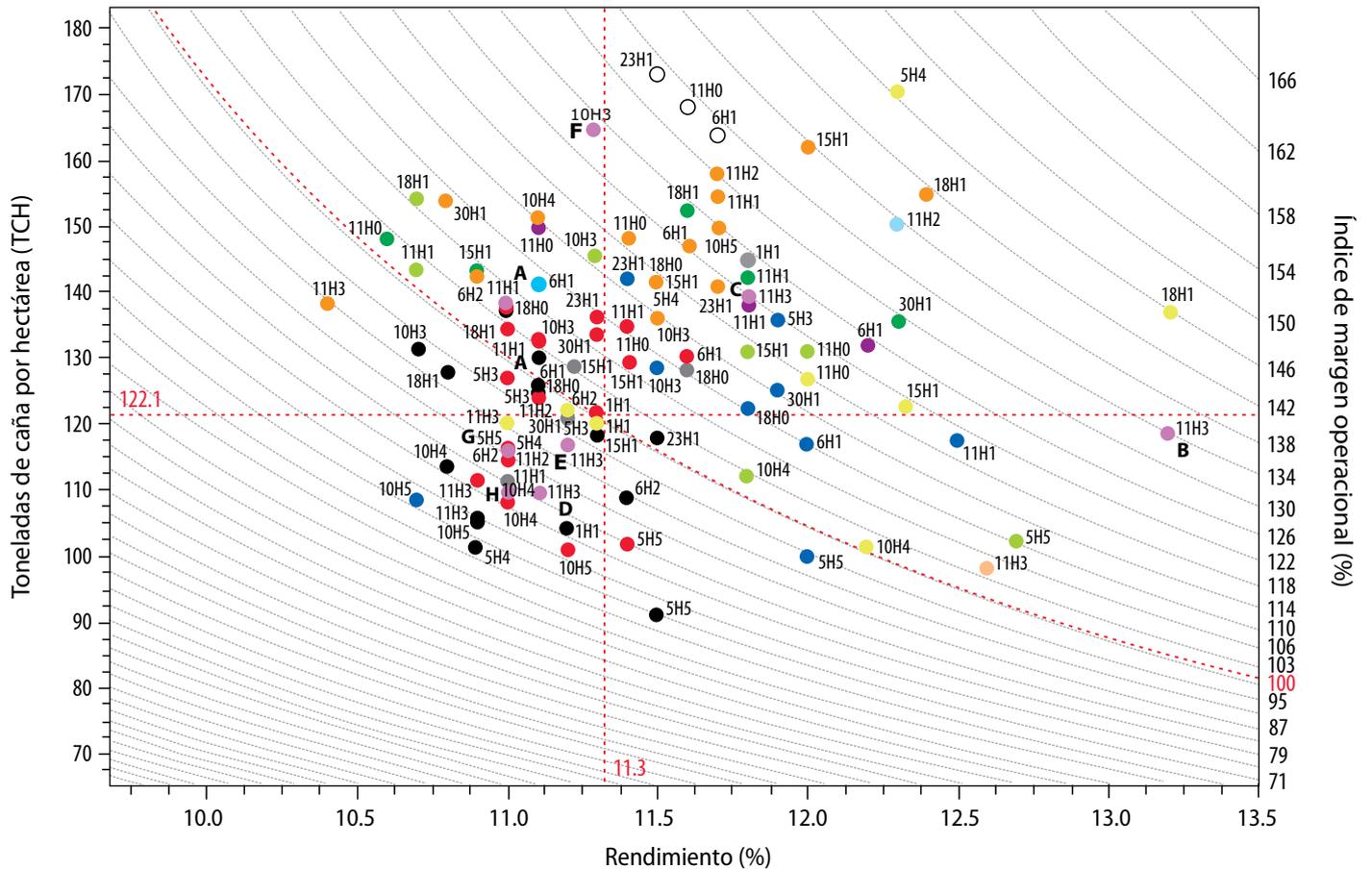
Variedad	Participación en el área sembrada (%)	
	2010	2011
CC 85-92	71.5	70.0
CC 84-75	10.4	8.9
CC 93-4418	2.4	3.6
V 71-51	2.6	2.0
Miscelánea	1.2	1.5
PR 61-632	1.4	1.2
CC 93-3826	0.8	0.8
CC 93-4181	0.9	0.8
CC 92-2198	0.6	0.7
CC 93-3895	0.7	0.7
CC 92-2804	0.5	0.5
MZC 74-275	0.5	0.5
CC 01-1940	0.05	0.3
CC 01-1228	0.1	0.2
RD 75-11	0.3	0.2
CC 87-434	0.2	0.2
Co 421	0.2	0.1
Otras variedades	1.9	1.2
Renovación	4.0	6.4
Total	100.0	100.0

**Cuadro 4.** Participación de las variedades comerciales y semicomerciales en el área cosechada.  
 Datos de doce ingenios, 2010 y 2011.

Variedad	Participación en el área cosechada (%)	
	2010	2011
CC 85-92	74.0	75.1
CC 84-75	12.2	10.9
V 71-51	2.8	2.5
CC 93-4418	1.2	2.4
PR 61-632	1.6	1.5
Miscelánea	1.6	1.4
CC 93-3895	1.2	1.0
CC 92-2198	0.7	0.7
CC 93-3826	0.7	0.7
CC 93-4181	0.5	0.6
MZC 74-275	0.6	0.6
CC 92-2804	0.4	0.4
RD 75-11	0.5	0.3
CC 87-434	0.3	0.2
Co 421	0.3	0.2
CC 93-7510	0.3	0.2
Otras	1.3	1.3
Total	100.0	100.0



Figura 5. Índice de margen operacional obtenido con 21 variedades cosechadas en 18 zonas agroecológicas. Datos de doce ingenios. Colombia, 2011.



Desviación estándar de TCH: 17.8 y de rendimiento: 0.9

- |              |              |              |                |                |                |              |
|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| ● CC 85-92   | ● CC 92-2804 | ○ CC 98-72   | ● CC 01-1228   | ● C-CC 92-2188 | ● F-CC 97-3170 | ● CC 00-468  |
| ● CC 84-75   | ● CC 93-4418 | ● CC 92-2198 | ● A-CC 87-434  | ● D-CC 93-4429 | ● G-CC 92-3191 | ● CC 03-154  |
| ● CC 93-3826 | ● CC 93-4181 | ● CC 93-3895 | ● B-CC 89-2000 | ● E-CC 93-744  | ● H-CC 96-6953 | ● CC 091-746 |



**Los avances de la investigación en agricultura específica por sitio muestran las ventajas de este enfoque en el desarrollo del potencial productivo de las tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.**



# Agricultura Específica por Sitio

Cenicaña define la Agricultura Específica por Sitio como el arte de realizar las prácticas agronómicas requeridas por una especie vegetal de acuerdo con las condiciones agroecológicas del sitio donde se cultiva, para obtener de ella su rendimiento potencial.

- 28** Validación de paquetes tecnológicos de AEPS
- 30** Seguimiento de variedades según el manejo agronómico aplicado al cultivo
- 33** Diagnóstico de las causas de la variabilidad de la producción intrasuerte
- 36** Guía de Recomendaciones Técnicas con enfoque de AEPS



## Validación de paquetes tecnológicos de AEPS

En experimentos de validación participativa, Cenicaña y los ingenios azucareros han confirmado las ventajas en productividad y rentabilidad en áreas comerciales por el uso de paquetes tecnológicos de AEPS en comparación con paquetes de agricultura convencional.

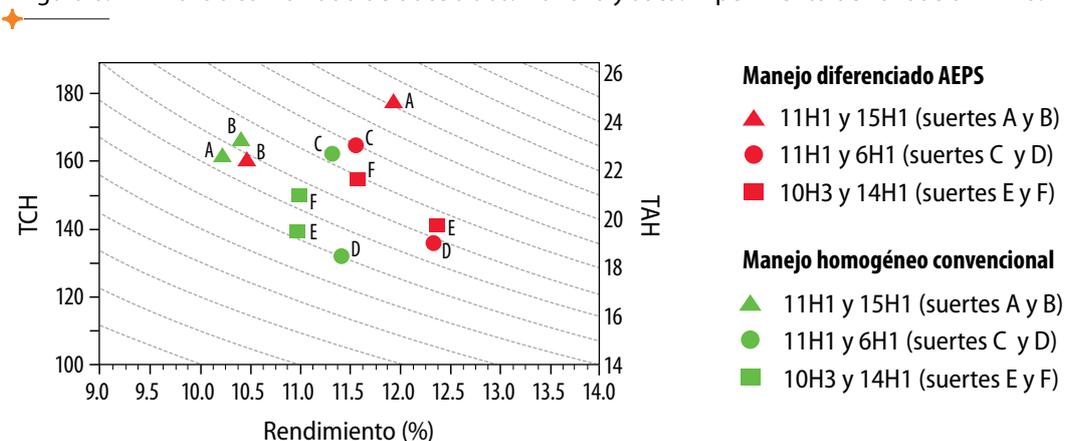
Las evaluaciones de validación se llevan a cabo en tres pares de suertes (cada suerte con influencia de dos zonas agroecológicas), conformados así: primer par, zonas 11H1 y 15H1; segundo par, 11H1 y 6H1, y tercer par, 10H3 y 14H1. Con los datos de producción y costos de dos cortes (plantilla y primera soca), mediante análisis de agrupamiento se identificaron dos grupos: uno integrado por doce sitios, y el otro por ocho sitios.

La descripción de los tratamientos de validación por grupo y los resultados del análisis combinado de los sitios en cada caso se presentan a continuación. Las variables de productividad analizadas corresponden al tonelaje de caña por hectárea (TCH), el rendimiento de azúcar por tonelada de caña (%) y el tonelaje de azúcar por hectárea (TAH). El análisis económico se refiere a los ingresos netos por tonelada de azúcar. Las evaluaciones en estos sitios experimentales continuarán en las socas siguientes.

**Análisis combinado de doce sitios.** Se evaluaron dos tratamientos en plantilla y soca: 1) Uso de paquetes tecnológicos de AEPS, con variedades y prácticas de manejo diferenciadas de acuerdo con las zonas agroecológicas presentes en cada suerte; y 2) Uso de paquetes tecnológicos de agricultura convencional, con una variedad y prácticas de manejo homogéneo en toda la suerte, sin tener en cuenta las zonas agroecológicas.

Los indicadores de rendimiento, TAH e ingreso neto fueron significativamente superiores con el manejo diferenciado de AEPS respecto del manejo homogéneo (**Figura 6**). En promedio, las diferencias a favor de la AEPS fueron: un punto de rendimiento, 1.7 TAH y entre 24 - 28% más de ingresos netos por tonelada de azúcar (28% en unidades productivas con manejo directo de ingenios y 24% en unidades productivas de proveedores de caña). No se observaron diferencias estadísticas en TCH entre tratamientos.

Figura 6. Análisis combinado de doce sitios. Plantilla y soca. Experimento de validación AEPS.



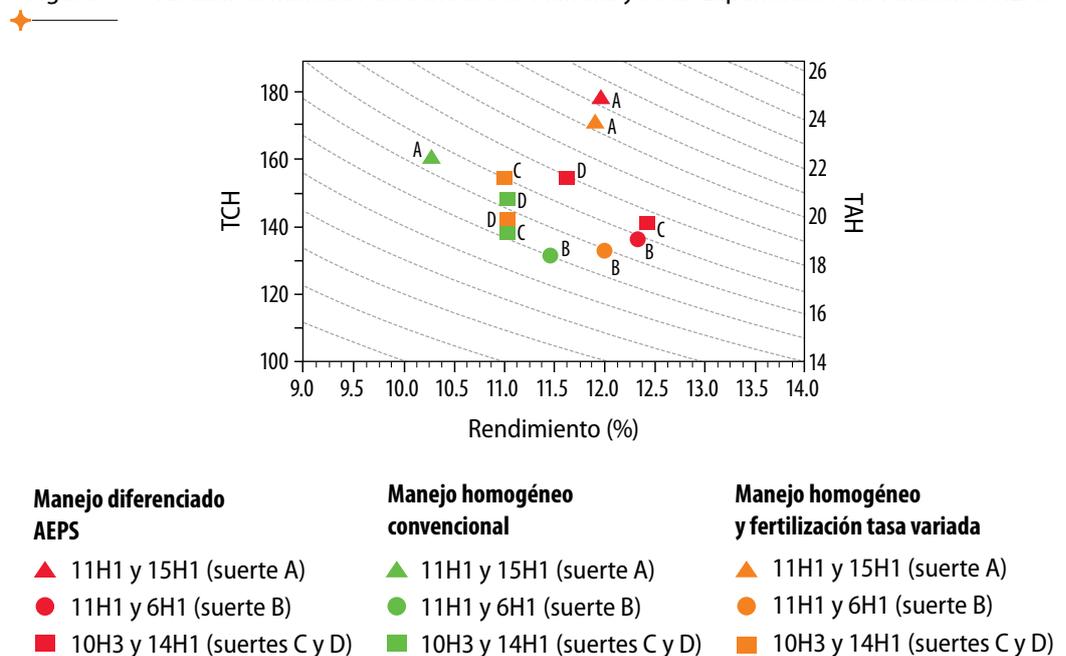
**Análisis combinado de ocho sitios.** Se evaluaron tres tratamientos en plantilla y soca:

- 1) Uso de paquetes tecnológicos de AEPS, con variedades y prácticas de manejo diferenciadas de acuerdo con las zonas agroecológicas presentes en cada suerte;
- 2) Uso de paquetes tecnológicos de agricultura convencional, con una variedad y prácticas de manejo homogéneo en toda la suerte, sin tener en cuenta las zonas agroecológicas;
- 3) Uso de paquetes de agricultura convencional con cambios en la tecnología de fertilización por aplicaciones de fertilizantes con dosis o tasa variada.

Se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en los indicadores de rendimiento, TAH e ingreso neto (**Figura 7**). El promedio de rendimiento fue 1.3% superior con el manejo diferenciado de AEPS respecto al manejo homogéneo, y 0.8% mayor en comparación con el tratamiento homogéneo con tasa variada de fertilizantes. En tonelaje de azúcar, con el tratamiento diferenciado se registraron 2.5 TAH más en comparación con el manejo homogéneo convencional y 1.5 TAH más con respecto al tratamiento homogéneo con tasa variada de fertilizante. Este último tratamiento superó en 0.9 TAH al homogéneo convencional. No se registraron diferencias significativas en TCH entre tratamientos.

En cuanto a los ingresos netos por tonelada de azúcar, en las unidades productivas con manejo directo de ingenio el tratamiento AEPS produjo 25% más que el homogéneo con fertilización de tasa variada y 35% más que el homogéneo convencional. En unidades productivas de proveedores de caña el ingreso con AEPS fue superior en 23% respecto al tratamiento homogéneo y tasa variada y 30% superior respecto al homogéneo convencional (Isaacs *et al.*, 2011).

Figura 7. Análisis combinado de ocho sitios. Plantilla y soca. Experimento de validación AEPS.



Los componentes del paquete tecnológico de agricultura convencional evaluado en la experimentación fueron identificados en talleres de trabajo con profesionales de campo de los ingenios azucareros y con proveedores de caña. La información acerca de las variedades de mejor adaptación en las zonas agroecológicas y las prácticas de manejo agronómico que definen el paquete tecnológico de AEPS validado en la experimentación se incorpora progresivamente en la Guía de Recomendaciones Técnicas (GRT), que ha sido desarrollada y publicada por Cenicaña en plataforma Web para uso de los productores azucareros donantes del Centro (ver página 36).

## Seguimiento de variedades según el manejo agronómico aplicado al cultivo

Para validar la ubicación de las variedades de caña de azúcar en las zonas agroecológicas dedicadas al cultivo se están evaluando tratamientos que incluyen la combinación de variedad recomendada–no recomendada junto con el manejo de alta-baja productividad según la zona. El objetivo de la experimentación es determinar los efectos en productividad y rentabilidad de las variedades de caña de azúcar en las zonas agroecológicas y su relación con el manejo agronómico aplicado al cultivo.

Con este fin se llevan a cabo experimentos en las zonas 6H1 y 11H1, que caracterizan las condiciones agroecológicas de mayor influencia en área en el sector azucarero del valle del río Cauca. Estas zonas ocupan alrededor del 16% y el 12% del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar, respectivamente.

A continuación se presentan los resultados de plantilla en la zona agroecológica 11H1, donde se evaluaron los tratamientos de manejo agronómico de alta y baja productividad que se muestran en el **Cuadro 5**. Las variedades y las especificaciones de las labores culturales en cada caso fueron definidas en talleres y reuniones que contaron con la participación de representantes de los ingenios azucareros, proveedores de caña y Cenicaña.

En las evaluaciones se confirmaron las ventajas de la AEPS en el mejoramiento de la productividad y la rentabilidad. Las variedades evaluadas fueron CC 93-4418, CC 84-75 y CC 85-92; esta última como testigo general del experimento. Las variables analizadas: toneladas de caña por hectárea (TCH), rendimiento (%) e ingreso neto por tonelada de caña. De acuerdo con los resultados, se observaron diferencias significativas entre tratamientos (variedades y manejo agronómico) en los indicadores de TCH e ingreso neto.

- En este experimento en la zona 11H1 el promedio de tonelaje de caña por hectárea con CC 93-4418 fue superior en 11 TCH y 14.8 TCH respecto a los resultados con CC 84-75 y CC 85-92. En relación con el manejo agronómico se registró una diferencia de 4.3 TCH con AEPS de alta productividad en comparación con el manejo convencional de baja productividad.
- El rendimiento de azúcar (%) fue similar entre variedades y entre tratamientos, aunque se observó la tendencia de mejores resultados con AEPS: con la variedad CC 93-4418 se registraron 0.49 y 0.28 unidades porcentuales más de rendimiento respecto a CC 84-75 y CC 85-92; con las prácticas de alta productividad el rendimiento fue 0.24 unidades porcentuales mayor respecto al manejo de baja productividad.

- Por su parte, los ingresos netos por tonelada de caña con la variedad CC 93-4418 superaron en 3.6% los ingresos percibidos con CC 85-92 y en 1.5% los registrados con CC 84-75. En la comparación por manejo agronómico, la AEPS produjo 5.3% más de ingresos que la agricultura convencional. Las estimaciones fueron hechas para unidades productivas con manejo de proveedores de caña y las diferencias detectadas resultaron significativas desde el punto de vista estadístico.

Cuadro 5. Resumen de prácticas culturales en suertes de la zona agroecológica 11H1. Seguimiento de variedades según el manejo agronómico aplicado al cultivo (sin el uso de productos maduradores).

Prácticas de manejo agronómico en la zona agroecológica 11H1	Manejo de alta productividad	Manejo de baja productividad
Variedad de caña de azúcar	CC 93-4418	CC 84-75
Descepada (rastra de 18 discos x 36")	Dos pases	Dos pases
Subsolada (subsolador parabólico)	Un pase	Dos pases
Rastro-arado (rastra de 18 discos x 36")	Un pase	Dos pases
Rastrillada	Un pase	Dos pases
Surcada	Un pase	Un pase
Distancia entre surcos	1.75 metros	1.75 metros
Densidad de siembra (bandereo entre paquetes de semilla)	12 metros	10 metros
Riego de germinación	Durante los diez días siguientes a la fecha de siembra	Durante los diez días siguientes a la fecha de siembra
Resiembra	Según evaluaciones de germinación	Según evaluaciones de germinación
Aporque (aporcador de discos)	55 días después de la siembra	Plantas sin aporque
Control de malezas (herbicida)	Aplicación en las etapas de preemergencia y postemergencia de las malezas	Aplicación en la etapa de postemergencia de las malezas
Fertilización (una sola aplicación a los 60 días después de la siembra)	Dosis definidas según el análisis químico de suelo y los requerimientos de la planta	Dosis definidas según el criterio del agricultor
Riego de fertilización	Riego tres días después de la fertilización	Plantas sin riego próximo a la fertilización
Programación de los riegos de levantamiento del cultivo	Según el balance hídrico los riegos se realizan cuando se agota la LARA, sin que la planta se vea sometida a déficit hídrico.	Según el balance hídrico los riegos se realizan cuando la planta enfrenta situaciones de déficit hídrico.
Método de riego	Surco alterno	Surco continuo
Control de calidad de labores	Medición de indicadores por labor	Observación de campo

Las sendas del cambio técnico para pasar de la agricultura convencional a la agricultura específica por sitio identificadas en esta experimentación pueden ser relativamente fáciles de transitar como guías para la innovación tecnológica en las unidades productivas de caña de azúcar administradas por ingenios y proveedores. La decisión de probar las nuevas variedades en las zonas agroecológicas típicas de los ambientes para los cuales han sido seleccionadas es la puerta de entrada al camino de la productividad. Esto exige conocimiento técnico acerca de los suelos y el clima, que se puede obtener, en buena parte, de los estudios detallados de suelos y los análisis climatológicos disponibles.

Con el reconocimiento de las condiciones agroecológicas propias de cada sitio de cultivo, los cambios principales en AEPS obedecen a decisiones técnicas y administrativas sobre la forma de aplicar la tecnología disponible para hacer más eficientes los procesos productivos y aumentar la eficacia de las prácticas culturales, incluido un esfuerzo especial en el control de calidad de las labores, tanto en la planeación como en la ejecución y evaluación.

En la zona agroecológica 11H1 (Cuadro 5), las decisiones de manejo para pasar de bajas productividades a altas productividades implican cambios varietales con la siembra de variedades seleccionadas por su adaptación a las condiciones específicas del sitio de cultivo.

En relación con el manejo, los cambios corresponden al número de pases de los equipos de preparación de suelos, la densidad de siembra, el aporque, la época del control químico de malezas, el criterio para definir las dosis de fertilizantes, la aplicación de riego próximo a la fertilización, la programación de los riegos con balance hídrico y los métodos de aplicación del agua, tecnologías de AEPS que representan menores costos de producción. Esta experimentación continuará de acuerdo con los objetivos planteados.



Experimento de validación de paquetes tecnológicos diferenciados por zona agroecológica.

## Diagnóstico de las causas de la variabilidad de la producción intrasuerte

Con el propósito de determinar la variabilidad de la producción intrasuerte, diagnosticar las causas (factores determinantes, limitantes y reductores de la producción), identificar soluciones y aplicar medidas correctivas que mejoren la productividad. Durante 2011 se analizó la información de seis suertes, donde se estableció una cuadrícula de 25 m x 25 m y se hicieron mediciones sistemáticas de las variables de diagnóstico y respuesta del cultivo durante dos cortes (plantilla y soca).

Los resultados del análisis con técnicas de estadística clásica y redes neuronales artificiales muestran que las causas de la variabilidad de la producción intrasuerte difieren según el ambiente de cultivo, y que la magnitud de los efectos depende de las asociaciones entre los factores causales presentes en cada situación. Así mismo, el análisis de relevancia métrica señala diferencias en la importancia relativa de los factores según los objetivos de producción.

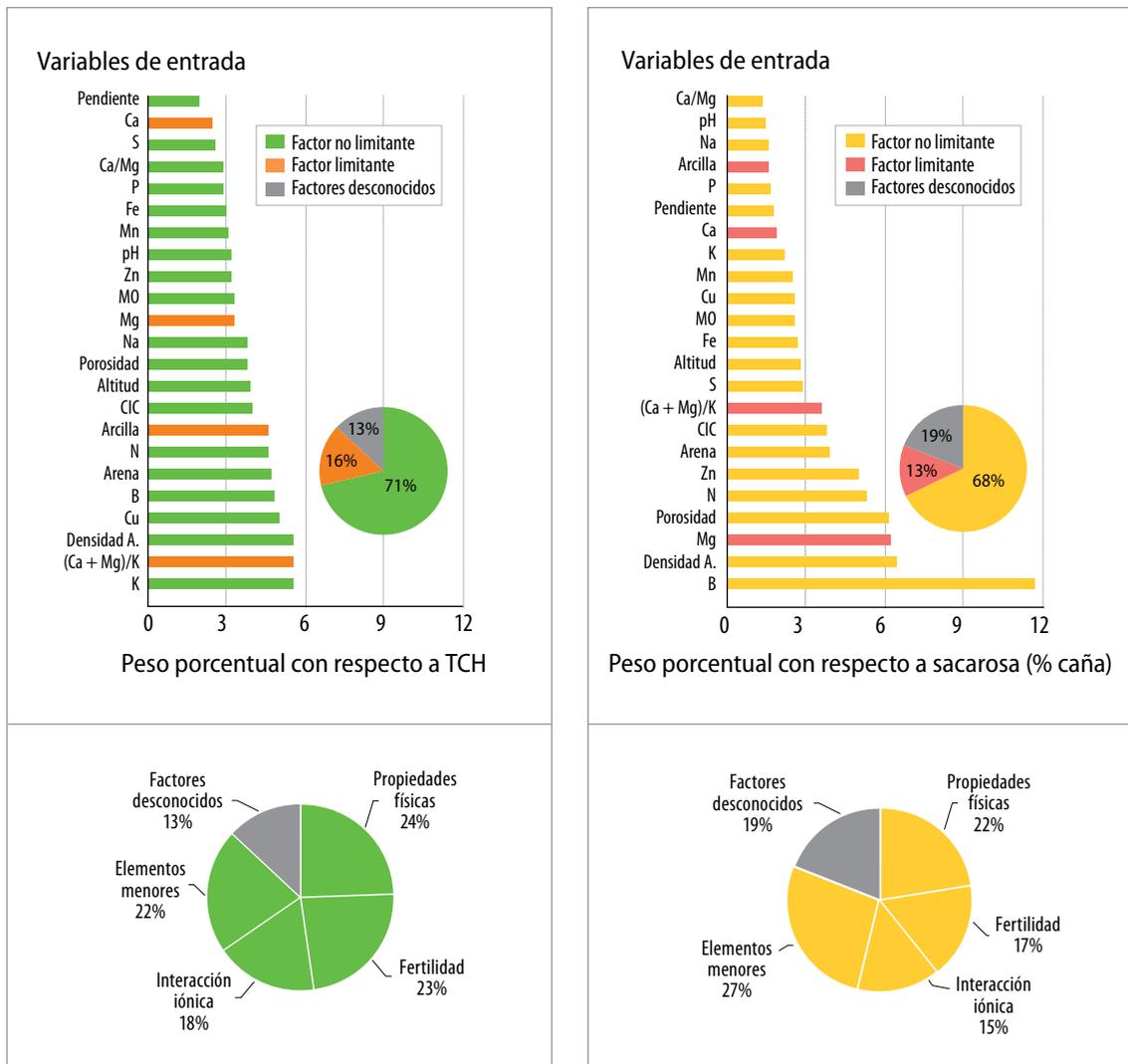
- De acuerdo con el análisis estadístico discriminado por pasos, se encontró que todas las suertes –cada una con influencia de dos zonas agroecológicas– presentaron variabilidad de la producción intrasuerte. Las productividades altas que se consiguieron en algunas zonas agroecológicas estuvieron asociadas con contenidos de nitrógeno >0.11%, fósforo entre 15 – 27 ppm, cobre entre 1.25 – 1.75 Cmol/kg, magnesio <10 Cmol/kg y capacidad de retención de humedad a 1500 KPa entre 6% y 20%. En otras zonas de productividades bajas los resultados estuvieron asociados con contenidos de fósforo <10 ppm, capacidad de retención de humedad a 1500 KPa entre 18 – 25%, relación calcio más magnesio sobre potasio (Ca+Mg/K) superior a 120 unidades y contenidos de magnesio entre 11 – 20 Cmol/kg.
- El peso de cada variable con respecto a los cambios de las variables de respuesta del cultivo (TCH y sacarosa % caña) se determinó utilizando técnicas de relevancia métrica. También se usaron técnicas de geoestadística para generar mapas de variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo.

En una suerte donde el 87% de la variabilidad de la productividad se encontró asociada con las propiedades físicas y químicas del suelo y las variables topográficas se determinó que el contenido de K, la relación Ca+Mg/K y la densidad aparente fueron los factores de mayor influencia en TCH, mientras el contenido de boro (B) fue el factor que más incidió en sacarosa (% caña) (**Figura 8**).

- El análisis de las otras cinco suertes con un modelo de redes neuronales artificiales señaló que las propiedades del suelo en algunos sitios de las suertes se constituyeron en factores limitantes para la producción de caña y de azúcar, mientras en otros sitios fueron las prácticas de manejo agronómico y el clima los factores que más incidieron en la producción. El modelo también mostró que los contenidos de elementos menores como el boro (B), el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) tuvieron un papel importante en la nutrición del cultivo, por déficit o por exceso.

- Finalmente, a partir del resultado de relevancia métrica de tres suertes se generaron mapas con la distribución espacial de las variables de mayor impacto en los indicadores de productividad (**Figura 9**). Estos mapas son el producto de un modelo teórico con enfoque causa-efecto de variables seleccionadas sistemáticamente, en el cual se desconocen las relaciones internas de las variables de entrada con respecto a las variables de salida; por lo tanto, su interpretación debe estar sujeta a las condiciones específicas de los sitios objeto de análisis.

Figura 8. Análisis de relevancia métrica intrasuerte. Distribución porcentual de los factores de producción en los suelos estudiados, respecto del tonelaje de caña por hectárea y la sacarosa (% caña).



Los mapas de relevancia métrica intrasuerte indicaron que en algunos casos la producción fue mayor en los sitios con menor contenido de arcilla (proporción más equilibrada de arcilla y arena) o con mayor contenido de boro en el suelo. En otros casos la producción fue mayor donde se presentaron menores valores de densidad aparente o de la relación  $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{K}$  (**Figuras 8 y 9**).

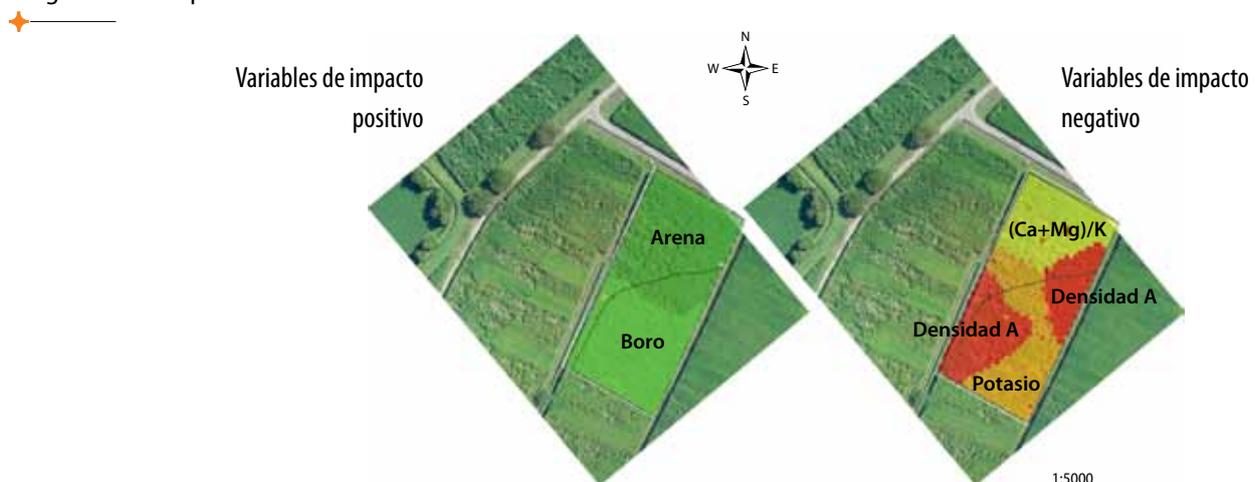
Este estudio muestra que cada unidad de manejo agrícola es particular en lo que respecta al ecosistema de la caña de azúcar, y que la variabilidad de la producción intrasuerte es un indicio de la compleja red de relaciones que puede haber en el continuo suelo-agua-planta-atmósfera, cuya dinámica depende en gran medida del enfoque agrícola aplicado en el manejo de las unidades productivas.

Las recomendaciones generales del estudio destacan la oportunidad que ofrece el enfoque de AEPS para desarrollar el potencial productivo de las tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, mediante el uso de información actualizada acerca de los suelos, el clima y la infraestructura productiva en el lote o la suerte, como criterio de análisis en las decisiones de cambio tecnológico orientadas al mejoramiento de la sostenibilidad por la vía de la productividad.

La búsqueda de soluciones tecnológicas únicas o generalizadas que resuelven por igual todas las limitaciones de las tierras de cultivo impide el avance de la productividad. En su lugar, los agricultores comprometidos con la sostenibilidad de sus empresas y con el entorno que las hace viables pueden comenzar a aplicar la AEPS identificando y demarcando los sitios del lote de cultivo donde el atraso en el desarrollo de las plantas coincide con la presencia de posibles factores limitantes. Las suertes así delimitadas pueden ser, entonces, objeto de seguimiento a través de observaciones frecuentes y mediciones técnicas según el caso, con el fin de reconocer las zonas de cada suerte que requieren un manejo específico en función del desarrollo del cultivo.

La investigación continuará para validar a través de experimentos controlados la magnitud del efecto en la productividad de los factores identificados como limitantes de la producción en las suertes donde se lleva a cabo el estudio.

Figura 9. Mapas de relevancia métrica. Caso de estudio.



## Guía de Recomendaciones Técnicas con enfoque AEPS®

En diciembre de 2011 Cenicaña publicó la Guía de Recomendaciones Técnicas con enfoque AEPS® (GRT), herramienta de consulta por zona agroecológica desarrollada en plataforma Web, que facilita la toma de decisiones y la aplicación de la agricultura específica por sitio en las unidades productivas de caña de azúcar (**Figura 10**).

La Guía ha sido diseñada con el criterio de ofrecer a los agricultores azucareros un recurso didáctico acerca de la tecnología disponible para la práctica de la AEPS en el valle del río Cauca. A través de consultas interactivas la GRT entrega información depurada sobre la productividad de las zonas agroecológicas con las distintas variedades de caña de azúcar sembradas a escala comercial y semicomercial, criterios y recomendaciones sobre las prácticas agronómicas más adecuadas según la zona agroecológica y el control de calidad de las labores.

Esta nueva herramienta integra los conocimientos en AEPS derivados de la investigación y la transferencia de tecnología en el sector azucarero colombiano, validados por Cenicaña. Es un recurso de comunicación técnica fácil de usar, que orienta al agricultor para obtener información precisa acerca de los suelos y las condiciones de humedad de su unidad productiva. La GRT simplifica el acceso a las demás herramientas disponibles en el Sistema de Información AEPS en Web y a otros documentos de referencia técnica dispuestos en el sitio web administrado por Cenicaña.

Los cuidados para la conservación del medio ambiente y el control de la calidad para asegurar la eficacia de las labores de cultivo hacen parte de las indicaciones incluidas en la Guía, un servicio de transferencia de tecnología que será objeto de mejoramiento y actualización continua por parte de Cenicaña, con base en los resultados de la investigación y el conocimiento colectivo del sector productivo. ●





versión para web  
<http://www.cenicana.org/aeps/mrt.php>

versión para smartphones y tablets  
<http://m.cenicana.org/>

Figura 10. Guía de Recomendaciones Técnicas con enfoque AEPS®.



**El énfasis de la gestión tecnológica para el mejoramiento de los sistemas de corte de caña, alce, transporte y recepción de la materia prima en los ingenios azucareros se basa en la evaluación y el desarrollo de esquemas que contribuyan a aminorar los efectos del tráfico de los equipos en el campo y a mejorar la logística y los estándares técnicos y económicos de las operaciones.**



CATE

# Corte, Alce, Transporte y Entrega de caña

El objetivo general de los proyectos relacionados con el sistema CATE es mejorar los estándares tecnológicos y la logística del sistema para disminuir los costos de producción y obtener mejoras económicas en el sector productivo.

**40** Transporte y recepción de caña

**42** Logística del sistema CATE



## Transporte y recepción de caña

El objetivo general en este componente del proyecto CATE es mejorar los estándares tecnológicos y la eficiencia del transporte de caña y la recepción en fábrica. La estrategia se centra en el desarrollo de esquemas de logística del sistema CATE basados en el uso de vagones de transporte de mínimo peso, con lo cual se espera disminuir los costos de transporte y mejorar la eficiencia económica del sistema.

### Vagones de descarga lateral: evaluación y ajuste de prototipos DL 24000

Cuatro vagones de descarga lateral con capacidad de 24 toneladas y bajo peso estructural, diseñados para el transporte de caña, fueron evaluados en las operaciones corrientes de cosecha y recepción de caña en los ingenios Incauca y Providencia.

Las pruebas de desempeño técnico de los componentes mecánicos de la canasta y el mecanismo de apertura de la puerta lateral se hicieron en las operaciones de descarga de caña en las estaciones de recepción en fábrica. Las pruebas del chasis se llevaron a cabo durante todo el ciclo de operación del equipo, incluidos el traslado de vagones vacíos al campo, el cargue de caña, el transporte y la descarga en fábrica. Las mediciones experimentales fueron obtenidas por Cenicaña a través de sensores de deformación (*stream gages*) instalados en las estructuras mencionadas (**Figura 11**).

De acuerdo con los resultados se justificaron los ajustes de diseño en los prototipos, por cambios del tiro (enganches más robustos e instalación de elastómeros) y refuerzos en algunos componentes estructurales de la canasta que presentaron fallas o fisuras. También se cambió el tipo de llantas del remolque.

Figura 11. Evaluación estructural mediante sensores de deformación (*stream gages*).

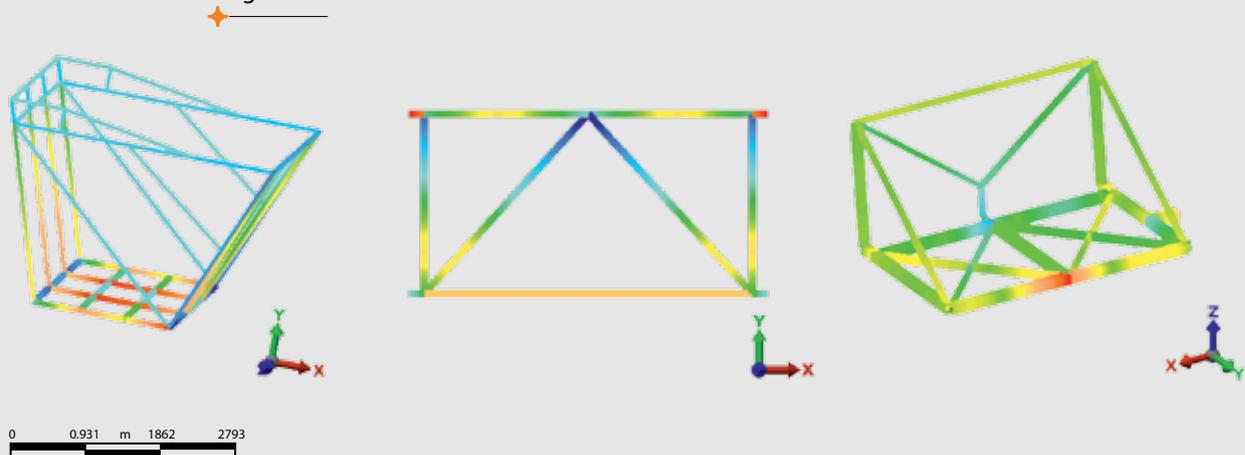


Todos los prototipos fueron modificados de acuerdo con las indicaciones derivadas de la evaluación técnica. En el seguimiento de la operación de transporte con los vagones modificados se determinaron valores de tara entre 8.9 – 9.1 toneladas con cargas entre 24 – 25 toneladas de caña troceada por vagón. Durante las pruebas de seguimiento no se registraron movimientos laterales de los últimos vagones del tren en carreteras pavimentadas. La evaluación económica mostró ventajas para los ingenios por el uso de los prototipos DL 24000. Disminuyeron los costos agregados de consumo de combustible y los vagones de peso reducido (fabricados con el acero necesario) transportaron una cantidad de caña mayor que los vagones HD 20000 (tara de 10.5 – 11.5 t y carga de 20 – 21 t). El costo del transporte de caña disminuyó en 7% en un ingenio y en 11% en el otro ingenio, lo cual se reflejó en una reducción de los costos totales de CATE de 4% y 7% en cada caso.

## Diseño de vagones de autovolteo: ingeniería básica

Cenicaña desarrolló la ingeniería básica de un vagón de autovolteo de mínimo peso, diseñado para operar en eventos de cosecha mecanizada, en sistemas con vagones de transporte DL 24000. Los criterios de diseño del vagón de autovolteo se centraron en la facilidad para el trasbordo de caña troceada, al adecuar la operación de autovolteo a la capacidad de carga de la canasta DL 24000, la cual está dividida en tres compartimentos, cada uno con capacidad equivalente a ocho toneladas. Así, con una densidad de carga de  $400 \text{ kg/m}^3$  de caña troceada la capacidad óptima del vagón de autovolteo se determinó en 8.5 t. Las estructuras óptimas de los componentes mecánicos (canasta, cruceta móvil y chasis) fueron definidas mediante simulaciones con el método de elementos finitos (**Figura 12**). A partir de los pesos estimados de cada componente se alcanzó una tara de 5.57 t, lo cual significó una relación entre la carga transportada y la tara del equipo de 1.52, valor superior en 19.7% respecto a los vagones de autovolteo utilizados actualmente.

Figura 12. Simulación mediante análisis de elementos finitos.



## Logística del sistema CATE

El objetivo general en este componente del proyecto CATE es caracterizar la logística integral del sistema para definir los indicadores relacionados con la operación, y con ellos desarrollar modelos de simulación que contribuyan a evaluar la factibilidad técnica y económica de opciones tecnológicas y mejores prácticas de alce, transporte y entrega de la materia prima en la fábrica.

### Simulación de un sistema de alce y transporte de caña larga con vagones livianos

En la búsqueda de soluciones tecnológicas que contribuyan a mejorar la eficiencia del transporte de caña larga de la cosecha manual y a reducir los costos de la operación las actividades de investigación han estado dirigidas a aumentar la densidad de carga en vagones de transporte de bajo peso estructural, mediante nuevos esquemas de alce, trasbordo y transporte de caña. Así, durante 2011 se elaboraron modelos de simulación matemática para evaluar la factibilidad técnica y económica de un sistema propuesto por Cenicaña, en el cual se utilizan nuevos vagones muy livianos –con una capacidad volumétrica de carga de 30 m<sup>3</sup> y una tara cercana a las cuatro toneladas– que entran al campo para ser cargados con caña larga alzada con máquinas convencionales, y luego, en bahías de trasbordo, mediante el uso de una grúa de alta capacidad de carga (*grab* para 3 – 4 toneladas), entregan la caña directamente a vagones de transporte de bajo peso estructural.

La meta es reducir en 3% los costos del transporte de caña larga en un ingenio piloto que procesa 4700 toneladas de caña por día, utilizando el sistema propuesto de alce, trasbordo y transporte para entregar en fábrica el 50% de la caña cosechada por el ingenio. Así, se ha estimado una densidad de carga de 288 kg/m<sup>3</sup> en el vagón liviano que entra al campo, tomando como línea base la densidad promedio de 220 kg/m<sup>3</sup> obtenida en los vagones de autovolteo que utilizan actualmente algunos ingenios para sacar la caña del campo en las temporadas lluviosas.

Tracto-camión y tren de vagones HD 20000 utilizados actualmente para el alce y el transporte de caña de azúcar en el valle del río Cauca.



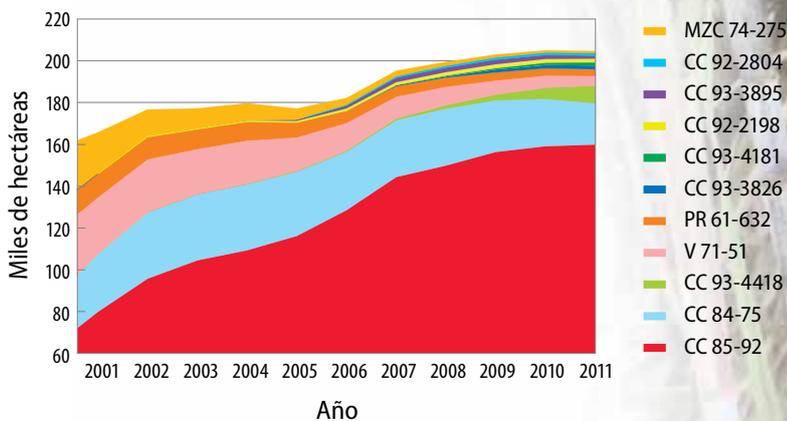
### Dinamometría y consumo de combustible

En un ingenio se hicieron evaluaciones con un tracto-camión utilizado como vehículo para halar vagones de transporte de caña. Con base en mediciones de la fuerza de tiro ejercida por el vehículo y la potencia requerida se identificaron puntos de sobre-esfuerzo en componentes mecánicos del equipo de transporte. Así mismo, con una carga de 99 toneladas se estimaron ahorros de consumo de combustible de 28.7% en promedio en el traslado por carretera pavimentada respecto al viaje por vías destapadas o sin pavimento. Estas evaluaciones, realizadas en atención a una solicitud expresa del ingenio, aportaron información complementaria para el análisis de escenarios en los proyectos de mejoramiento de la logística del sistema CATE. ●

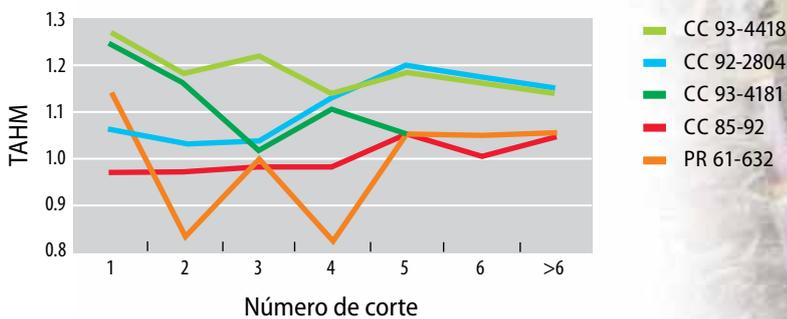
**En la última década ha aumentado el número de variedades CC cultivadas por la agroindustria azucarera del valle del río Cauca,** entre las que se destacan por su participación en el área sembrada, sanidad vegetal y productividad CC 93-4418, CC 92-2804, CC 93-3826 y CC 93-4181. Otras variedades nuevas en experimentación que también han aumentado en área son: CC 01-1228, CC 01-678, CC 03-154 y CC 01-1940.

De acuerdo con los resultados en 2011 las variedades CC 93-4418 y CC 92-2804 se caracterizaron por presentar tonelajes de azúcar por hectárea y mes (TAHM) altos y estables a través de los cortes en las zonas agroecológicas donde fueron cosechadas.

**Variedades en el área sembrada (2001-2011)**



**Toneladas de azúcar por hectárea y mes (año 2011)**



CC 93-4418

Progenitores: Mex 64-1487 x MZC 74-275

Registro ICA: AO 5955.

**CC 93-4418**

### **Variedad CC 01-1940**

Evaluada a escala experimental en diez sitios del ambiente húmedo, la CC 01-1940 se destaca por su alta producción de caña y sacarosa, buen aspecto agronómico y resistencia genética a las enfermedades principales. En las cosechas de la prueba regional (plantilla y soca) produjo 18% más toneladas de sacarosa por hectárea que la variedad testigo CC 85-92.



# Programa de Variedades

**Misión** Obtener variedades que expresen su potencial genético en ambientes específicos y que mejoren la productividad y rentabilidad de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en el valle del río Cauca.

**46** Mejoramiento

**53** Biotecnología

**55** Fitopatología

**56** Entomología



## Mejoramiento

El desarrollo del Sistema de Información de Variedades de Cenicaña (identificado con la sigla SIVAR) ha tenido una dinámica iterativa de uso y mejoramiento continuo de las utilidades disponibles, debido a las bases de datos existentes y a la incorporación de modelos de análisis adecuados a las necesidades de la investigación. Este sistema se ha constituido en una herramienta básica en el proceso de mejoramiento genético de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, por sus aplicaciones en la programación de cruzamientos, la planificación de experimentos, el archivo y consulta de los 'libros de campo' y el análisis de la información.

Otro aspecto que contribuye con la capacidad de obtención de variedades en la región es la adecuación de nuevas instalaciones de fotoperíodo controlado en la Estación Experimental de Cenicaña. En nueve cuartos dispuestos para el efecto, cada semestre se ingresan 830 macetas con cuatro tallos de plantas seleccionadas como progenitores a fin de inducirles la formación de inflorescencias mediante la adición de luz artificial como complemento de la luz natural.

Como parte de las evaluaciones, en 2011 se agregó a la caracterización de variedades del banco de germoplasma la calificación de incidencia y severidad de la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) y se incluyó esta información en la selección de progenitores para los cruzamientos. Entre enero y noviembre se realizaron 912 cruzamientos, de los cuales 150 fueron hechos en la Estación de Hibridación de la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera, CNIAA, en Tapachula (México), y 762 en la Estación Experimental de Cenicaña en San Antonio de los Caballeros (Colombia).



### Variedades más eficientes en el uso del agua

Una de las alternativas para disminuir el consumo de agua en la agricultura consiste en seleccionar para la siembra aquellos genotipos más eficientes en el uso del agua. Con este propósito, en el Ingenio Manuelita, zona agroecológica 11H1, en dos experimentos con nueve variedades –uno de ellos sin déficit de humedad (testigo) y el otro con déficit entre 4 y 8 meses de edad– se identificaron las características de la caña de azúcar asociadas con mayor eficiencia en el uso del agua para la producción de caña, así: alta eficiencia del fotosistema II, baja conductancia estomática, baja temperatura de la hoja, alta clorofila y alta cera.

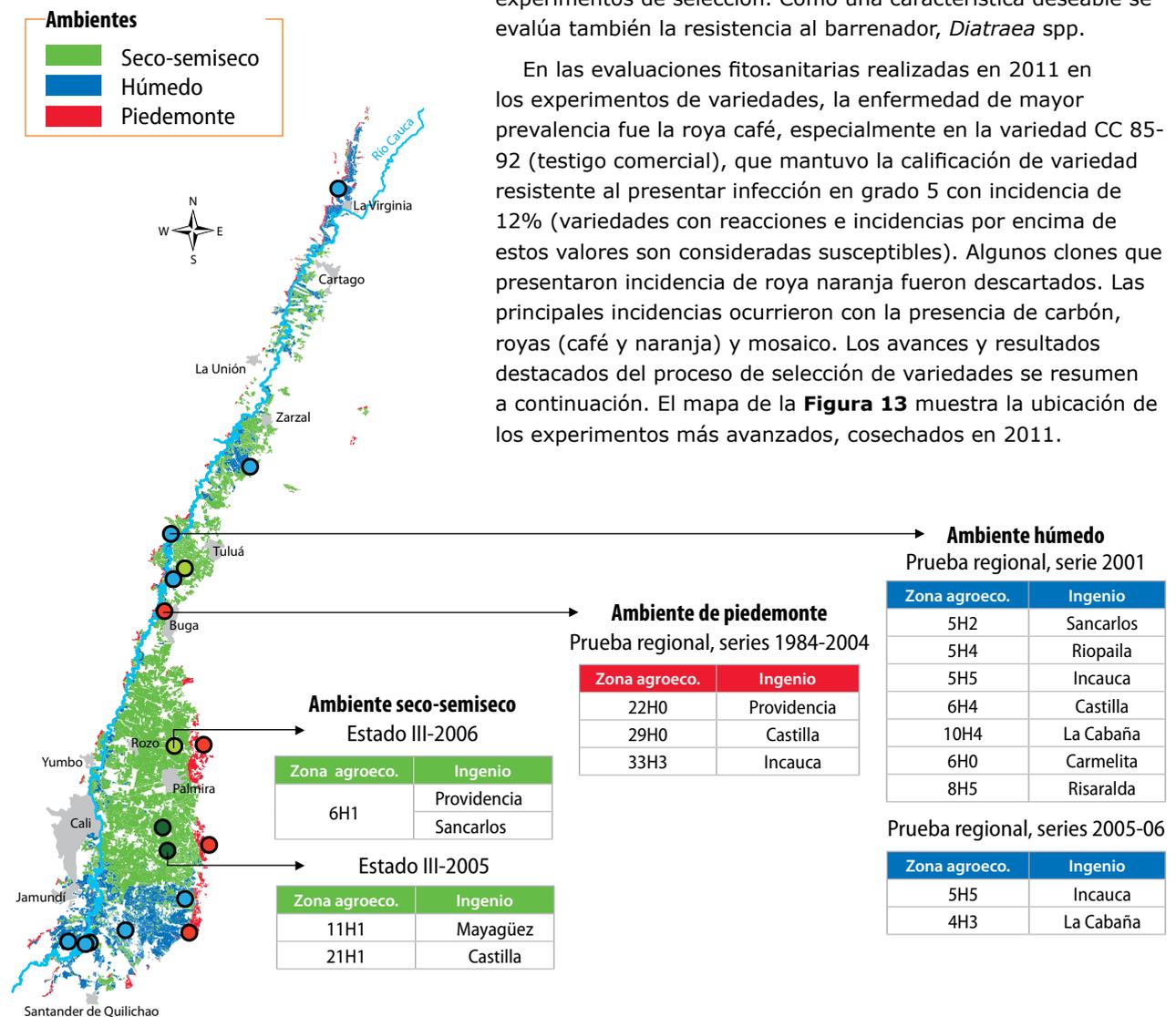
En las parcelas con déficit hídrico, con las variedades CC 00-3771, CC 93-7711, CC 98-577, RB 73-2223 y SP 71-6949 (plantilla) se obtuvo un tonelaje de caña igual al del tratamiento testigo (CC 85-92 sin déficit de humedad). Las cinco variedades mencionadas fueron en promedio 17% más eficientes que la CC 85-92 en el uso del agua; en condiciones de déficit hídrico las raíces de las plantas eficientes se incrementaron especialmente en los primeros 30 cm de profundidad del suelo. Las evaluaciones continuarán en la soca siguiente.

## Obtención de variedades

Según los procedimientos establecidos en el proceso de mejoramiento y selección de variedades, los clones en evaluación (estados I, II, III y prueba regional) pasan por varios análisis de campo y laboratorio para la calificación de resistencia ante las enfermedades de carbón (*Ustilado scitaminea* Sydow), roya café (*Puccinia melanocephala* H. & P. Syd.), roya naranja (*Puccinia kuehnii* Butl.) y mosaico de la caña de azúcar (SCMV). De acuerdo con los criterios de selección, los clones calificados como susceptibles a dichas enfermedades son eliminados de los experimentos de selección. Como una característica deseable se evalúa también la resistencia al barrenador, *Diatraea* spp.

En las evaluaciones fitosanitarias realizadas en 2011 en los experimentos de variedades, la enfermedad de mayor prevalencia fue la roya café, especialmente en la variedad CC 85-92 (testigo comercial), que mantuvo la calificación de variedad resistente al presentar infección en grado 5 con incidencia de 12% (variedades con reacciones e incidencias por encima de estos valores son consideradas susceptibles). Algunos clones que presentaron incidencia de roya naranja fueron descartados. Las principales incidencias ocurrieron con la presencia de carbón, royas (café y naranja) y mosaico. Los avances y resultados destacados del proceso de selección de variedades se resumen a continuación. El mapa de la **Figura 13** muestra la ubicación de los experimentos más avanzados, cosechados en 2011.

Figura 13. Ubicación de experimentos de selección de variedades cosechados en 2011.



## Variedades para ambiente seco-semiseco

Este ambiente se define por las características de las zonas agroecológicas de la parte plana del valle del río Cauca, donde prevalecen las condiciones de humedad H0, H1 y H2, las cuales se encuentran en más del 65% del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en la región. Las nuevas variedades son seleccionadas por su adaptación en este ambiente, y se busca aumentar el contenido de sacarosa (% caña) por lo menos en 5% con respecto al testigo comercial y mantener el tonelaje de caña.

En la fase inicial de selección, durante 2011 fueron evaluados por su aspecto fitosanitario, agronómico y por sacarosa (% caña) 18,637 clones, hermanos completos pertenecientes a 190 familias en prueba en el experimento correspondiente al estado I-2012. Son hermanos completos aquellos clones que provienen de un cruzamiento biparental, es decir, que la identidad de ambos padres es conocida. En esta primera fase del experimento fueron seleccionadas 35 familias que presentaron una media de sacarosa (% caña) igual a 14.11% con un rango entre 13.8% y 15.5%. La sacarosa (% caña) de todo el grupo (190 familias) alcanzó una media de 13.86% con rango entre 12.26% y 15.5%. La media de los testigos CC 85-92 y MZC 74-275 fue 13.6% y 15.0%, respectivamente. De acuerdo con los resultados, para el carácter sacarosa (% caña) se estimó en 0.43% el diferencial de selección, en 40% la heredabilidad con base en familias y en 0.20% la expectativa de progreso por selección. Los clones incluidos en la experimentación fueron obtenidos de cruzamientos hechos en las estaciones de México y Colombia. En la segunda fase del experimento se hará la selección individual por aspecto fitosanitario y sacarosa, y los mejores clones pasarán a evaluación en estado II.

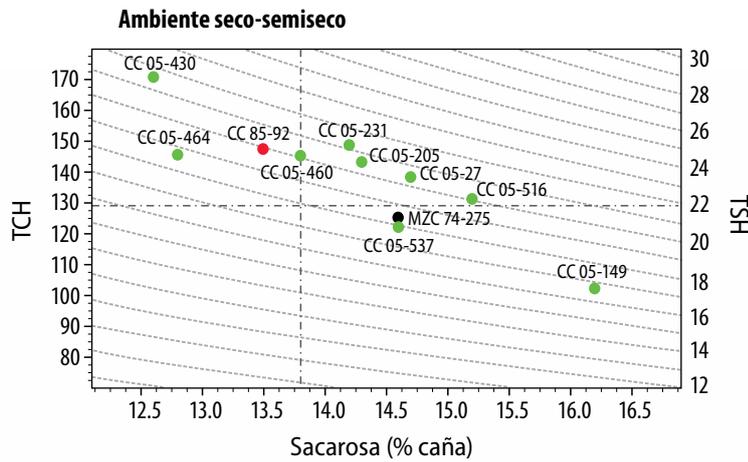
Los experimentos más avanzados en el proceso de selección, con resultados en 2011, se presentan a continuación. Las zonas agroecológicas en cada caso se muestran en el mapa de la Figura 13 anterior. En las figuras de isocurvas de las páginas siguientes se presentan los resultados de productividad de las variedades sobresalientes en cada experimento. Información detallada y otra complementaria se encuentra en las memorias de las reuniones de los Comités de Investigación de Campo, Variedades y Sanidad Vegetal, disponibles en el sitio web de Cenicaña.

**Estado III-2005.** Luego de ser evaluadas por tres cortes (plantilla y dos socas) fueron seleccionadas ocho variedades que hacían parte del grupo de 69 clones CC de la serie 2005 sembrados en el estado III de experimentación. Las variedades sobresalientes en los caracteres sacarosa (% caña), toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de sacarosa por hectárea (TSH) y sus diferencias con respecto al testigo CC 85-92 se presentan en la **Figura 14**. Con las variedades seleccionadas se sembrará la prueba regional.

**Estado III- 2006.** Los resultados de este experimento son preliminares, pues corresponden al primer corte de los tres cortes previstos para la selección de las variedades que pasarían a prueba regional. En las evaluaciones de la plantilla, las nuevas variedades y los testigos comerciales fueron calificados como resistentes a las royas (café y naranja). En la **Figura 15** se muestran las variedades sobresalientes en los caracteres de interés y sus diferencias respecto a los testigos.



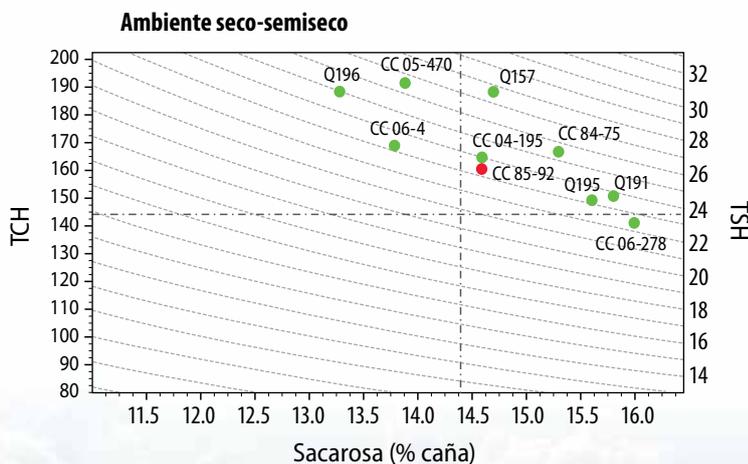
Figura 14. Variedades sobresalientes en ambiente seco-semiseco (medias de tres cortes en dos localidades). Estado III-2005. Edad de cosecha: 13.7 a 14.4 meses. Testigos: CC 85-92 y MZC 74-275.



Variedades sobresalientes, estado III-2005

Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 05-430	12.6	171	21.7
CC 05-231	14.2	149	21.3
CC 05-205	14.3	144	20.6
CC 05-27	14.7	139	20.4
CC 05-149	16.2	103	16.5
CC 05-516	15.2	131	19.7
CC 05-537	14.6	123	18.2
CC 05-464	12.8	146	18.8
CC 05-460	13.8	146	20.1
MZC 74-275	14.6	126	18.3
CC 85-92	13.5	148	20.0
Media general	13.8	129	17.8
Mínimo	12.1	98	13.6
Máximo	16.2	171	21.7
DMS (p=5%)	1.1	18	2.8

Figura 15. Variedades sobresalientes en ambiente seco-semiseco (medias de un corte en dos localidades). Estado III-2006. Edad de cosecha: 15.8 a 16.6 meses. Testigos: CC 85-92 y CC 84-75.



Variedades sobresalientes, estado III-2006

Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 05-470	13.9	192	26.5
CC 04-195	14.6	164	24.0
CC 06-278	16.0	140	22.2
CC 06-4	13.8	168	23.3
CC 06-277	15.2	155	23.6
CC 06-123	14.7	161	23.6
Q195	15.6	148	23.0
Q157	14.7	189	27.6
Q196	13.3	188	25.0
Q191	15.8	151	23.8
CC 84-75	15.3	167	25.5
CC 85-92	14.6	160	23.4
Media general	14.4	143	20.5
Mínimo	11.9	108	15.1
Máximo	16.3	192	27.6
DMS (p=5%)	1.3	35	5.3





**Varietal CC 06-791.** En las zonas agroecológicas 5H5 y 4H3 la CC 06-791 produjo en plantilla 24% más tonelaje de caña por hectárea que el testigo CC 85-92.

## Varietal para ambiente húmedo

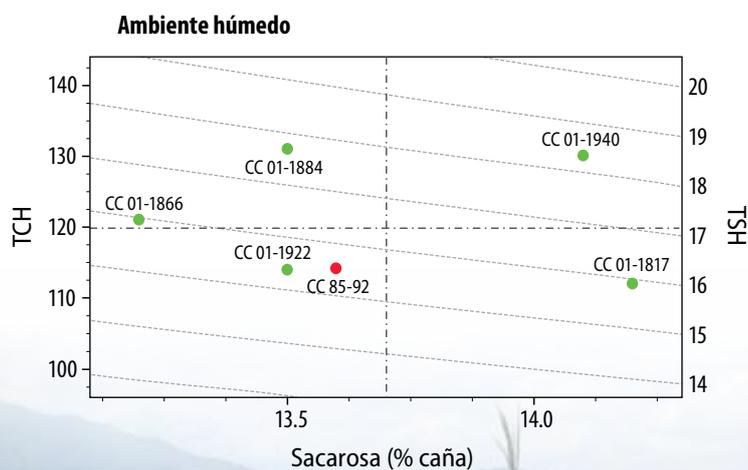
La identificación de factores que inciden significativamente en la selección y desarrollo de variedades para el ambiente húmedo ha facilitado el proceso de mejoramiento de variedades para las zonas agroecológicas con condiciones de humedad H3, H4 y H5. El manejo agronómico que se les da a los campos con ese objetivo permite diferenciar las variedades de mejor comportamiento en las condiciones húmedas.

En 2011 se cosechó la plantilla de 123 clones en estado II-2009, experimento sembrado en Incauca, en una zona agroecológica 5H5. De acuerdo con la calificación fitosanitaria y el contenido de sacarosa (% caña) al momento de la cosecha fueron seleccionados 24 clones que pasarán al estado III de evaluación. Veintitrés clones provienen de cruzamientos hechos en México en el año 2005. Tres variedades del grupo superaron en 10% al testigo CC 85-92 en sacarosa (% caña).

**Prueba regional de la serie 2001.** La prueba se lleva a cabo en siete ingenios donde se están evaluando cinco variedades. En la **Figura 16** se presentan las curvas de isoproductividad correspondientes a las medias de sacarosa (% caña), TCH y TSH de los genotipos, análisis combinado de los resultados en plantilla (siete ingenios) y primera soca (tres ingenios). La prueba continuará hasta la cosecha de la segunda soca.

**Prueba regional de las series 2005-2006.** Se evaluó un grupo de 14 variedades en las zonas agroecológicas 5H5 (Incauca) y 4H3 (La Cabaña). En la zona 5H5 no se detectaron diferencias significativas de las variedades en plantilla en los caracteres de interés con respecto al testigo CC 85-92. Esta última alcanzó una media de 13.3% de sacarosa (% caña) y 92 TCH. Se destacó la variedad CC 06-791 por su media de tonelaje, superior en 24% al testigo. La variedad CC 06-783 tuvo una producción similar al testigo, aunque fue calificada como susceptible a la roya café (*P. melanocephala* H. & P. Syd.), motivo por el cual no será recomendada para siembra comercial.

Figura 16. Variedades evaluadas en ambiente húmedo (medias de un corte en siete localidades y dos cortes en tres localidades). Prueba regional de la serie 2001. Edad de cosecha: 15.8 a 16.6 meses. Testigo: CC 85-92.



**Variedades evaluadas, prueba regional 2001**

Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
CC 01-1940	14.1	130	18.2
CC 01-1884	13.5	131	17.7
CC 01-1866	13.2	121	15.7
CC 01-1817	14.2	112	15.8
CC 01-1922	13.5	114	15.3
CC 85-92	13.6	114	15.4
Media general	13.7	120	16.3
Mínimo	13.2	112	15.3
Máximo	14.2	131	18.2
DMS (p=5%)	0.5	3.7	0.9



**Variedad CC 01-1940.** En zonas agroecológicas de ambiente húmedo la CC 01-1940 produjo 4% más sacarosa (% caña) que el testigo CC 85-92, 14% más toneladas de caña por hectárea y 18% más toneladas de sacarosa por hectárea.

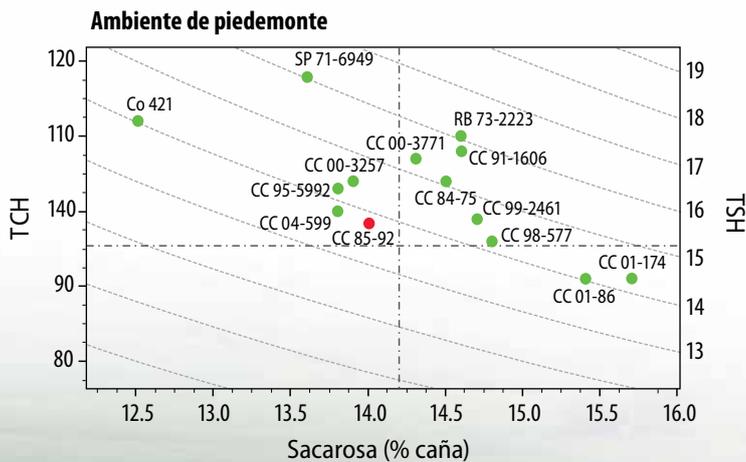
La nueva variedad se caracteriza por su resistencia genética a las enfermedades de roya café, roya naranja, carbón y mosaico. Presenta buen deshoje natural, y sus tallos son erectos y de porte alto. Es bastante estable, con potencial genético alto en producción y buena plasticidad de adaptación a diferentes zonas agroecológicas.

## Variedades para ambiente de piedemonte

Los experimentos se ubican en áreas del piedemonte, en sitios representativos de las zonas agroecológicas caracterizadas por condiciones de humedad entre H0 y H5, pendientes mayores de 3% y altura sobre el nivel del mar superior a 1050 metros (sin incluir napas de desborde, lechos colmatados ni cauces abandonados). Las variedades son seleccionadas por su adaptación en este ambiente; se busca aumentar el tonelaje de caña en 15% con respecto a la variedad comercial utilizada como testigo y mantener el contenido de sacarosa (% caña).

**Prueba regional de las series 1984-2004.** Los resultados de dos cortes (plantilla y primera soca) en las tres localidades de la prueba se presentan en la **Figura 17**. Cinco variedades sobresalieron en el tonelaje de sacarosa por hectárea por su estabilidad a través de las localidades. La prueba concluirá con la cosecha de la segunda soca.

Figura 17. Variedades sobresalientes en ambiente de piedemonte (medias de dos cortes en tres localidades).  
 Prueba regional de las series 1984-2004. Edad de cosecha: 14.1 a 16.8 meses. Testigo: CC 85-92.



**Variedades sobresalientes, prueba regional 84-04**

Variedad	Sacarosa (% caña)	TCH	TSH
SP 71-6949	13.6	118	15.8
RB 73-2223	14.6	110	15.7
CC 91-1606	14.6	108	15.6
CC 00-3771	14.3	107	15.2
CC 84-75	14.5	104	14.9
CC 99-2461	14.7	99	14.3
CC 00-3257	13.9	104	14.2
CC 95-5992	13.8	103	14.0
CC 98-577	14.8	96	14.0
CC 01-174	15.7	91	13.9
CC 04-599	13.8	100	13.9
Co 421	12.5	112	13.9
CC 01-86	15.4	91	13.9
CC 85-92	14.0	98	13.6
Media general	14.2	95.5	13.4
Mínimo	12.5	82.7	11.8
Máximo	15.7	118.5	15.8
DMS (p=5%)	1.6	19.7	2.6

## Biotecnología

### Búsqueda de genes asociados con características de interés

En la búsqueda de genes asociados con sacarosa y biomasa se complementó el mapa genético de la caña de azúcar a partir de una progenie ( $F_1$ ) del cruzamiento entre MZC 74-275 x ICA 69-11. La progenie y los progenitores fueron sembrados en campo en tres ambientes (seco-semiseco, húmedo y piedemonte). El análisis de 13 caracteres cuantitativos asociados a componentes de producción de biomasa y azúcar se hizo sobre la progenie a los 4, 12 y 13 meses de edad del cultivo tanto en plantilla como en soca. Un total de 1252 alelos o bandas polimórficas fueron obtenidos con diferentes marcadores moleculares utilizados en el estudio (426 AFLP, 167 microsatélites y 659 DAR<sub>T</sub>). Con estos alelos fue posible formar 150 grupos de ligamiento que constituyen el mapa genético final, sobre el cual fue posible ubicar genes de herencia cuantitativa o QTL (del inglés *Quantitative Trait Loci*). Para cada uno de los tres ambientes en evaluación se encontraron asociaciones fuertes de marcadores con regiones específicas del genoma de la caña. Esta investigación fue cofinanciada por Colciencias.

En la misma línea de investigación de marcadores moleculares se utilizaron marcadores tipo AFLP, DAR<sub>T</sub> y microsatélites en una progenie ( $F_1$ ) de 146 individuos del cruzamiento entre CC 84-75 (susceptible al virus de la hoja amarilla, SCYLV) y RD 75-11 (resistente). Se identificaron dos marcadores: un marcador tipo AFLP (distancia genética de 10 cM) y un marcador microsatélite (15 cM), asociados con un gen de resistencia al SCYLV. A partir de este hallazgo se espera acortar la distancia genética entre el gen y otros marcadores nuevos, que facilite el aislamiento de este gen y su introducción en plantas susceptibles para conferirles resistencia al SCYLV.



Laboratorio de biotecnología, Cenicaña.

### Transformación genética

Durante 2011 se realizaron ensayos de transformación genética por medio de bombardeo de micropartículas (biobalística) empleando la pistola Hepta-Cenicaña sobre callo embriogénico de las variedades CC 85-92 y CC 84-75. En el invernadero de bioseguridad se encuentran 19 plantas de dos meses de edad, las cuales contienen genes como *Yls*, que confiere resistencia al virus de la hoja amarilla; gen *hptII*, que confiere resistencia al antibiótico higromicina; y gen de la  $\beta$ -glucoronidasa (*GusPlus*<sup>®</sup>). Tres plantas de la variedad CC 85-92 fueron positivas para la presencia del gen *hptII* utilizando PCR. Once plantas de la variedad CC 84-75 fueron positivas para el gen *Yls*. El proceso de verificación de la presencia de los transgenes continuará con todas las plantas para *hptII* y *GusPlus*<sup>®</sup>. Una vez confirmada la presencia de dichos genes las plantas se someterán a pruebas de patogenicidad y resistencia a antibióticos.

En relación con el establecimiento del protocolo de transformación utilizando *Agrobacterium tumefaciens*, hasta el momento se han realizado siete ensayos de transformación genética con la cepa EHA-105 en callo embriogénico de la variedad CC 84-75. Un total de 650 callos embriogénicos fueron transformados con genes que confieren resistencia a la higromicina (*hptII*) y al gen reportero de la  $\beta$ -glucuronidasa (*GusPlus*<sup>®</sup>). Se obtuvo un 13.3% de expresión transitoria del gen *GusPlus*<sup>®</sup> y se logró regenerar seis plantas *in vitro*, las cuales sobrevivieron luego de dos rondas de selección con dos concentraciones de higromicina (30 mg/L y 50 mg/L). En estas plantas se verificará mediante PCR la presencia de los genes insertados.

## Aislamiento de promotores en el genoma de la caña

Durante 2011 se hicieron dos construcciones genéticas (pCambia-AY700 y pCambia-AY699). En cada una de ellas se reemplazó el promotor (CaMV35S) del gen reportero *Gus* del vector pCambia1305.2 por dos fragmentos de 1300 pares de bases (pb) y 1260 pb del gen sacarosa sintetasa (SuSy). Adicionalmente, se realizó la construcción genética denominada pCambia-Ubi, donde se reemplazó el promotor CaMV35S del gen *Gus* por el promotor Ubiquitina de maíz. El correcto ensamblaje de los promotores en las construcciones se confirmó por secuenciamiento. Posteriormente se realizó el proceso de transformación genética con dichas construcciones por medio de biobalística sobre callo embriogénico de la variedad CC 84-75. De las dos construcciones en estudio, sólo la denominada pCambia-AY700 tuvo capacidad de expresión del gen reportero *Gus*, lo cual demuestra su funcionalidad como región promotora. La investigación continuará con la validación de la expresión de manera estable utilizando PCR en tiempo real y la búsqueda de nuevos promotores constitutivos e inducibles. Esta investigación fue cofinanciada por Colciencias.



## Genes asociados con tolerancia al estrés hídrico

El estrés causado por déficit o exceso de agua en la caña de azúcar ocasiona pérdidas significativas en la producción del cultivo y su rentabilidad. Con el objetivo de aislar genes que puedan ser utilizados en mejoramiento varietal, Cenicaña avanza en la identificación de secuencias de genes asociados con la tolerancia al estrés hídrico.

Hasta el momento, a partir de tejido de caña sometido a estrés por déficit o exceso se han obtenido cinco secuencias de ADNc de genes similares a los de la familia DREB (*Dehydration Responsive Element Binding Protein*), que en otras especies como maíz y arroz han sido asociados con tolerancia al estrés por déficit de agua. También se ha aislado una secuencia completa de un gen de la familia IPT (*Isopentenyl Transferase*), asociado al incremento en la tasa de fotosíntesis y a un efecto benéfico en las plantas durante el período de estrés causado por déficit hídrico o por exceso.

El paso siguiente es confirmar si estos genes provenientes de caña poseen una función similar a aquella descrita en otras especies de cultivos en relación con las características de interés, para lo cual se trabajará inicialmente en la construcción de los vectores de expresión de los genes identificados.

La identificación de nuevos genes candidatos continuará mediante la construcción y secuenciación de librerías de ADNc a partir de tejido de caña, con el fin de disponer de nuevos genes de interés agronómico que puedan ser utilizados en los procesos de transformación genética para el mejoramiento de la caña de azúcar.

## Fitopatología

### Manejo de estaciones de cuarentena

Con el fin de asegurar el control fitosanitario de las variedades provenientes de otros países, introducidas a Colombia principalmente para aumentar la diversidad genética disponible en el banco de germoplasma de caña de azúcar conservado por Cenicaña, en el territorio nacional se tienen una Estación de Cuarentena Cerrada en Cundinamarca (ICA, sede Mosquera: invernaderos adonde llegan en primera instancia las variedades importadas) y una Estación de Cuarentena Abierta en el Valle del Cauca (hacienda El Paraíso, del Instituto para la Investigación y Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca, INCIVA, campos experimentales donde se siembran las variedades que salen de la cuarentena cerrada).

De acuerdo con las estadísticas de 2011, al cierre del año había un total de 66 variedades importadas en proceso de cuarentena, limpieza por termoterapia y multiplicación *in vitro*, distribuidas así: en la Estación de Cuarentena Cerrada había 24 variedades: 17 de Australia (cinco fueron importadas en 2011), cinco de México y dos de Brasil. En la Estación de Cuarentena Abierta había ocho variedades sembradas: cuatro de Australia, dos de Brasil y dos de México; estas mismas variedades ingresaron a las colecciones del banco de germoplasma. Finalmente, 34 variedades se encontraban en proceso de limpieza por termoterapia y cultivo *in vitro*: 17 de Australia, siete de México, cinco de la colección de Miami, dos de Brasil, dos de Mauricio y una de Sudáfrica.

### Evaluación de royas en variedades Cenicaña Colombia

Uno de los componentes del manejo fitosanitario de la caña de azúcar está dado por la observación constante de los campos para la detección de síntomas que puedan señalar la presencia de enfermedades y por la confirmación de los patógenos mediante la evaluación

fitosanitaria *in situ* y el diagnóstico en laboratorio. En 2011, con el objetivo de evaluar las variedades Cenicaña Colombia en relación con la roya café (*Puccinia melanocephala*) y la roya naranja (*Puccinia kuehnii*), se visitaron semilleros y cultivos en producción de 102 fincas vinculadas con los ingenios Incauca, La Cabaña, Manuelita, Pichichí, Providencia, Riopaila Castilla, Risaralda y Sancarlos.

Los resultados en diferentes zonas agroecológicas y en plantas entre 2 y 11 meses de edad mostraron que: 1) No se encontró roya naranja en ninguna de las variedades CC evaluadas; 2) No se encontró roya café en las variedades: CC 92-2198, CC 93-3826, CC 93-4181, CC 93-4418, CC 00-3079, CC 01-678 y CC 01-1940; 3) Se diagnosticó roya café en seis variedades, en niveles que permiten calificarlas como resistentes al patógeno: CC 85-92, CC 84-75, CC 01-1228, CC 97-7170, CC 03-154, CC 92-2804; 4) La incidencia de roya café en plantillas de CC 85-92 y CC 84-75 mantuvo el nivel observado en 2010, en CC 85-92 la incidencia fue de 12% con reacción en grado 5 (plantas entre 2 - 6 meses de edad), y en CC 84-75 fue de 10% con reacción 5 (plantas entre 2 - 6 meses). Las demás variedades resistentes mostraron incidencia entre 2-10% y reacción entre 4-5.

#### CALIFICACION DE VARIEDADES

#### ROYA CAFÉ

##### Ausencia de roya

CC 93-4181	CC 01-1940
CC 93-3826	CC 01-678
CC 92-2198	CC 00-3079

##### Resistentes

CC 85-92	CC 84-75
CC 01-1228	CC 97-7170
CC 03-154	CC 92-2804

## Entomología

En 2011 Cenicaña comenzó a organizar la exposición permanente de su Colección Entomológica, que espera tener abierta al público en la Estación Experimental en San Antonio de los Caballeros en 2012. Compuesta hasta el momento por 20 especies de 14 familias y cinco órdenes, la colección incluye muestras del estado adulto, y para la mayoría de las especies, el estado de larva o ninfa, crisálida y huevo. La información de la colección es registrada en Specify, software desarrollado por la Universidad de Kansas.

### Detección de plagas potenciales

Durante el año se detectaron tres nuevas especies de insectos que afectan la caña de azúcar en el valle del río Cauca, todas ellas en cultivos de la empresa Riopaila Castilla cercanos a la planta Castilla.

En predios de Incauca se presentó una invasión de hormiga loca, *Paratrechina fulva*, que pese al control con cebos originó el ataque de la escama *Pulvinaria elongata*, la cual causó daños que obligaron a renovar tres hectáreas. Así mismo, en fincas proveedoras del Ingenio Pichichí se presentaron alarmas por cultivos con síntomas de amarillamiento donde se hallaron colonias abundantes de la cochinilla *Saccharicoccus sacchari* debajo de las yaguas, sin que hubiera sido posible encontrar asociaciones entre los síntomas y la presencia del insecto.



Minador de la caña, *Craspedonispa saccharina*.



Saltamontes, *Bucrates capitatus*.



*Xyleborus* sp.

Las nuevas especies detectadas en caña de azúcar en predios de Castilla desaparecieron en poco tiempo de los lotes infestados, sin causar mayores daños al cultivo. Los hallazgos correspondieron a:

- El minador de la caña de azúcar, identificado como *Craspedonispa saccharina* Maulik (Coleoptera: Chrysomelidae: Hispinae), cuyas poblaciones declinaron al cabo de dos meses debido al parasitismo de una avispa de la familia Chalcididae.
- El saltamontes de la caña, identificado por comparación con especímenes de la Colección de Insectos de la Universidad Nacional Colombia-sede Palmira como *Bucrates capitatus* (De Geer) (Orthoptera: Tettigoniidae), el cual tiene como sinónimo en la literatura *Locusta capitata* De Geer. Este saltamontes se presentó en altas poblaciones en varias suertes de caña pero se redujo en su proceso migratorio y sólo causó daños leves en el follaje de plantas jóvenes, especialmente en el cogollo, y daños en los tallos en plantas más desarrolladas.
- Un insecto pequeño del género *Xyleborus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), identificado por el daño causado en un cultivo de caña plantilla. El insecto perfora el tallo y forma galerías aledañas a la yema con efectos negativos en la germinación. En este caso los trozos de caña utilizados para la siembra estuvieron expuestos al sol por mucho tiempo, cerca de sitios boscosos, y los volátiles alcohólicos expedidos por la caña atrajeron al insecto.

## Infestaciones de *Diatraea*

El Comité de Sanidad Vegetal del sector azucarero inició en 2009 una campaña para incrementar la frecuencia y cobertura de las evaluaciones de *Diatraea* y las liberaciones de parasitoides de control biológico. Debido a la acción de los ingenios azucareros, en 2011 no se presentaron niveles altos de infestación de la plaga en el valle del río Cauca. Con el número de suertes evaluadas (12,871 en 2011 *versus* 7451 en 2009) aumentó también el número de eventos de liberación de parasitoides, que entre 2009-2010 se triplicó (de 6334 a 19,082 eventos).

## Manejo integral del salivazo *Aeneolamia varia*

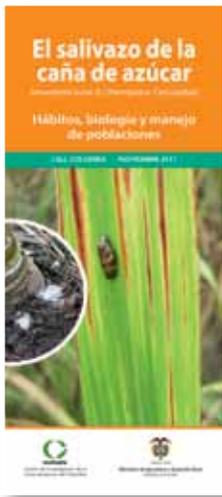
La especie *Aeneolamia varia* (F.) Hemiptera: Cercopidae es una plaga primaria de pastos en el Valle del Cauca que se ha diseminado y está en proceso de adaptación al ecosistema de la caña de azúcar. En Venezuela, donde *A. varia* subespecie *saccharina* (Distant) es la plaga más importante de la caña de azúcar, se han registrado disminuciones hasta de 25% en rendimiento de azúcar por ataques ocurridos entre 6 y 9 meses de edad del cultivo. En Colombia puede llegar a amenazar la productividad de la agroindustria azucarera si prevalecen las condiciones normales de clima en el valle del río Cauca.

En 2011, en suertes de los ingenios Pichichí y Providencia con poblaciones altas de adultos de la plaga y síntomas de quemazón en el follaje, se hicieron aspersiones del hongo *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin, de acuerdo con las formulaciones indicadas por Cenicaña. El tratamiento con el hongo entomopatógeno en dosis de  $1 \times 10^{13}$  conidias/hectárea resultó eficaz para el control del salivazo, y junto con la fertilización de la caña con urea, favoreció la recuperación del cultivo, como se observó tres meses después de las aplicaciones.

A continuación se resumen los resultados principales de la investigación adelantada por Cenicaña para el manejo integrado del salivazo *A. varia*, buena parte de ellos obtenidos en proyectos cofinanciados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Es necesario tener presente que *A. varia* sigue latente en los cultivos de caña y en los cultivos de pastos adyacentes. Las poblaciones del salivazo se incrementan en sitios donde los eventos de lluvia ocurren con alguna frecuencia y en cantidades moderadas. En temporadas muy secas o muy lluviosas las poblaciones de la plaga tienden a disminuir. Así, las lluvias regulares en el Valle del Cauca, en condiciones normales de clima, pueden ayudar a que se produzcan nuevas generaciones del salivazo, lo cual conlleva la consideración de que este insecto es una plaga potencial que amenaza la productividad de la agroindustria azucarera colombiana.

La participación de las unidades de sanidad vegetal de los ingenios es fundamental en el proceso de producción de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. La cooperación de estas unidades en la gestión de monitoreo, evaluación, manejo y control integrado de las plagas fortalece la capacidad de desarrollo productivo y sostenible en la región azucarera. En Colombia los ingenios azucareros prestan a sus proveedores de caña los servicios de evaluación sanitaria y asistencia técnica para el manejo de plagas.



Serie Divulgativa No. 11  
www.cenicana.org

## Biología de *Aeneolamia varia* y factores que determinan su abundancia en el Valle del Cauca

El salivazo, *A. varia*, es una plaga primaria de pastos en el Valle del Cauca que se ha diseminado y está en proceso de adaptación al ecosistema de la caña de azúcar. La conclusión se basa en los estudios sobre la biología del insecto, en los que se encontró que el ciclo de vida de *A. varia* es más prolongado en la caña de azúcar que en pastos del género *Brachiaria*.

Aunque en campo y en invernadero los adultos gozan de igual longevidad, la capacidad reproductiva se duplica cuando son huéspedes del pasto braquiaria en condiciones de campo, con respecto a la cría con braquiaria en invernadero. De acuerdo con los estudios acerca de la biología del insecto, en condiciones de invernadero la oviposición varía entre 30 – 40 huevos/hembra, y la mayor mortalidad ocurre en el estado de ninfa, principalmente en los dos primeros instares de los cinco por los que pasa el insecto antes de transformarse en adulto.

Las condiciones del clima afectan la dinámica poblacional de *A. varia*, de modo que es posible afirmar que las variaciones en el régimen de lluvias en el Valle del Cauca durante los últimos años han propiciado el desplazamiento de la plaga desde las pasturas hacia la caña de azúcar. En las temporadas secas se induce en los huevos el estado de diapausa o reposo y se incrementa la mortalidad de ninfas. Durante los períodos muy lluviosos pueden disminuir las poblaciones porque el agua arrastra los adultos que tratan de ovipositar. También ocurre que las variaciones climáticas afectan la fauna benéfica y sus poblaciones, lo cual tiene un efecto indirecto en la supervivencia de la plaga.

## Control con hongos entomopatógenos

En ensayos de laboratorio e invernadero fueron seleccionados 43 aislamientos de *M. anisopliae* por su patogenicidad y virulencia contra los estados de ninfa y adulto de *A. varia*. Luego de las evaluaciones de campo fueron seleccionadas por su eficacia de control las cepas codificadas como CoMa01, CCMa0906, CCMa1008, CeMa9236, sin que se presentaran diferencias significativas en la eficacia entre las tres últimas cepas. Para precisar la dosis del hongo por asperjar se continuaron las evaluaciones con la cepa CeMa9236 y se determinó la formulación de  $1 \times 10^{13}$  conidias/hectárea como la más eficaz para el control de poblaciones de la plaga; se observó que la mortalidad aumentó a medida que se incrementó la dosis del hongo.

Con fines de caracterización molecular de las cepas de *M. anisopliae*, se obtuvieron cultivos monoespóricos de 12 cepas seleccionadas en relación con su virulencia al salivazo *A. varia*. Se encontró que *Metarhizium anisopliae* presenta un alto grado de diversidad genética, de acuerdo con los análisis RAPD. El dendrograma logró agrupar los aislamientos, de acuerdo con su grado de virulencia, en tres grupos, así: Grupo 1, cepas de mayor virulencia contra *A. varia* (separa CeMa9236 de las restantes); Grupo 2, cepas medianamente virulentas (reúne CCMa1009, CCMa1013, CCMa0802 y CCMa0803); Grupo 3, cepas menos virulentas (CCMa0907 y CCMa0801).



Serie Divulgativa No. 12  
www.cenicana.org

## Control con nematodos entomopatógenos

Cinco especies de nematodos entomopatógenos halladas por Cenicaña y otras seis obtenidas de distintas entidades fueron evaluadas en su eficacia contra el salivazo *A. varia* en condiciones de campo, en un cultivo de caña infestado con la plaga. La especie *Heterorhaditis bacteriophora* y la especie nativa *Heterorhaditis* sp. (Gua 31) fueron las más eficaces, en dosis de  $1.5 \times 10^{11}$  juveniles infectivos por hectárea (JI/ha).

## Resistencia varietal

De acuerdo con la metodología desarrollada por Cenicaña para la calificación de las variedades de caña de azúcar en relación con su tolerancia o susceptibilidad al salivazo *A. varia*, un grupo de 202 genotipos del banco de germoplasma fueron evaluados en primer ensayo (variedades candidatas) y cuatro fueron evaluados en segundo ensayo (variedades confirmadas). Cuatro variedades que cumplieron el protocolo de pruebas fueron confirmadas como tolerantes: CCSP 86-7C-5, SP 79-3149, RB 72-5828 y SP 70-1143. Otras variedades identificadas como candidatas a tolerantes serán evaluadas en segundo ensayo, varias de la Estación Palmira-Colombia (identificadas con la sigla EPC), entre las que sobresalen EPC 39381 y EPC 48165 por alta tolerancia.

## Potencial de control biológico con *Salpingogaster nigra*

En el invernadero de la Estación Experimental de Cenicaña se determinaron los parámetros poblacionales del depredador del salivazo, *S. nigra*.

Para este insecto benéfico se estimó un ciclo de vida de 39.3 días: en estado de huevo, 3.2 días; larva, 9.6; pupa, 10.7 y adulto, 15.8 días. La oviposición de las hembras de *S. nigra* varió de acuerdo con el sustrato que se usó para la alimentación de los adultos. Se estimaron 69.9 huevos/hembra con dieta de flores de *Parthenium hysterophorus*, y 46.2 huevos/hembra con dieta de flores de *Emilia sonchifolia*. La viabilidad de los huevos provenientes de adultos alimentados con estas plantas fue del 89.9%.

Se confirmó que la espuma de la ninfa del salivazo es indispensable para el desarrollo de la larva de *S. nigra*; cuando la larva queda expuesta se deshidrata y muere rápidamente. Para las evaluaciones se estableció una colonia de *Zulia carbonaria* y el 40% de las ninfas resultantes se dedicó al sistema de producción de *S. nigra*. Se evaluaron dietas alternas al uso de ninfas de salivazo para criar larvas de *S. nigra* pero sin resultados positivos.

Con la colaboración de la Universidad Tecnológica de Pereira se analizaron los volátiles de la espuma del salivazo y se encontraron compuestos como Ciclohexanona; 2-etil, hexanal; 2-etil,1-hexanol; Benzotiazol; 2,3-dihidro-1H-inden-1-ona; Dodecanal; y 4-metil-2,6-di-tert- butilfenol, que en el evento de ser objeto de síntesis podrían facilitar el monitoreo de benéficos en los campos de cultivo. ●

**En las aplicaciones con caudal reducido se usan caudales por surco muy bajos, entre 0.1 – 0.3 litros por segundo en el piedemonte y hasta 0.4 L/s en las zonas planas donde el sistema ha sido probado.**

Los tiempos de avance del agua hasta el final del surco oscilan entre 20 – 24 horas. Los resultados en el piedemonte señalan aumentos del orden de 10% en el tonelaje de caña por hectárea respecto al uso del riego por aspersión.



# Programa de Agronomía

**Misión** Mejorar la productividad, la rentabilidad y la calidad de la caña de azúcar mediante el desarrollo de tecnología requerida para el manejo agronómico del cultivo, preservando los recursos naturales.

- 62** Manejo de aguas
- 66** Nutrición y fertilización
- 68** Factores que afectan la producción de la caña de azúcar
- 69** Maduración de la caña de azúcar
- 70** Mecanización
- 71** Geomática
- 72** Meteorología y climatología



## Manejo de aguas

### Precipitación efectiva para el Balance Hídrico

Cenicaña apoya a los cañicultores del sector azucarero en su compromiso de adoptar prácticas sostenibles de cultivo, entre ellas el uso del Balance Hídrico para la programación de los riegos, tecnología que al finalizar 2011 era utilizada en 160,000 hectáreas sembradas con caña en el valle del río Cauca, un área cercana al 70% del total dedicado a la producción de azúcar y etanol en la región.

Una investigación reciente para estimar la precipitación efectiva, es decir, aquella que realmente llega al suelo, permitió definir que en eventos de precipitación menor de 12 mm (medida en un pluviómetro representativo) la precipitación efectiva es aproximadamente el 80%, mientras que en eventos de precipitación superior a 12 mm la precipitación efectiva es alrededor del 90%.

El valor de precipitación efectiva es necesario para el cálculo del Balance Hídrico, especialmente cuando la caña es mayor de cuatro meses de edad. Para estimarlo se requiere el valor de precipitación que se mide en un pluviómetro representativo de las condiciones del sitio de cultivo.

Las funciones para el cálculo de la precipitación efectiva fueron integradas a los requerimientos de la nueva versión del programa de Balance Hídrico que está desarrollando Cenicaña. Otras actualizaciones corresponden a la función continua de K definida por los valores siguientes: K=0.3 (de 1-3 meses de edad de la caña), K=0.4 (3-4 meses), K=0.6 (5-6 meses), K=0.8 (6-8 meses), K=0.7 (8-9 meses) y K=0.6 (9-10 meses). También la LARA o lámina de agua rápidamente aprovechable del suelo, estimada según la edad del cultivo en 71 suelos identificados en estudios detallados en el valle del río Cauca.

### Balance Hídrico v. 4.0 Web

En 2011 se inició el desarrollo del nuevo software de Balance Hídrico (BH v.4.0 Web) con el fin de poner a disposición de los agricultores una plataforma Web en línea para la programación oportuna de los riegos aplicados al cultivo.

Las ventajas principales respecto a la versión actual son:

- Nuevas funciones para estimar: valores de K en siete etapas del ciclo de cultivo y precipitación efectiva.
- Acceso desde cualquier equipo sin necesidad de instalar software adicional.
- Consultas básicas a través de dispositivos móviles con acceso a internet.
- Visualización de cada suerte con su programación del balance hídrico.
- Captura automática del dato diario de evaporación calculada registrado en las estaciones de la Red Meteorológica Automatizada, sin necesidad de digitarlo.
- Envío de informes sobre el estado de los lotes mediante correo electrónico.
- Centralización de la información y seguridad de los datos.



## Riego con caudal reducido en zonas planas

Nuevas investigaciones adelantadas por Cenicaña en la parte plana del valle del río Cauca muestran grandes oportunidades de uso del sistema de riego con caudal reducido en el sector azucarero colombiano. Este sistema de riego por gravedad o superficie, que se caracteriza por ser de alta frecuencia, es recomendado por Cenicaña en tierras del piedemonte, en zonas donde el agua es escasa, la pendiente del terreno es mayor de 1% y los suelos son poco profundos y con altos contenidos de piedra y grava.

En la parte plana del valle del río Cauca el sistema fue probado en 170 hectáreas caracterizadas por suelos de la familia textural francosa fina, pendientes entre 0.002% y 0.003%, surcos de 100 metros de longitud y distancia entre surcos de 1.65 metros, con suministro de agua desde pozos profundos y aplicación al terreno mediante tubería de compuertas. En este sitio se utilizaron en promedio 990 m<sup>3</sup>/ha por evento de riego con caudal reducido por surco alterno, cantidad muy inferior a los 1200 m<sup>3</sup>/ha utilizados en el riego convencional por surco alterno. Con el caudal reducido por surco alterno la escorrentía fue mínima al final de los surcos y se logró una buena distribución de la humedad en el suelo (**Figura 18**).

Figura 18. Riego con caudal reducido aplicado con tubería de compuertas (0.18 L/s).  
La distribución de la humedad en el suelo fue adecuada después del riego.



Los resultados muestran que el riego con caudal reducido tiene potencial de adopción en suelos de textura fina en las zonas planas del valle del río Cauca. Sin embargo, tiene algunas limitaciones en suelos de texturas gruesas o suelos de texturas finas con inclusión de texturas gruesas, lo cual debe tenerse en cuenta en la decisión de utilizar este sistema.

En suelos que poseen un horizonte superficial de textura fina poco profundo (superficial) sobre un horizonte de textura gruesa la labranza profunda ocasiona una percolación excesiva que retarda o anula el avance del agua a lo largo de los surcos. Por ello antes de instalar un sistema de riego con caudal reducido es indispensable realizar las pruebas de avance e infiltración del agua en los surcos previamente aporcados, para definir el caudal por aplicar en cada surco y el tiempo requerido para el efecto.

En las aplicaciones con caudal reducido se usan caudales por surco muy bajos, entre 0.1 – 0.3 l/s en el piedemonte y hasta 0.4 l/s en las zonas planas donde el sistema ha sido probado; los tiempos de avance del agua hasta el final del surco oscilan entre 20 – 24 horas. Los resultados en el piedemonte señalan aumentos del orden de 10% en el tonelaje de caña por hectárea respecto al uso del riego por aspersión.

Serie Divulgativa No. 13  
www.cenicana.org



De acuerdo con la investigación, la eficiencia del riego con caudal reducido depende más de la textura del suelo que de la pendiente del terreno. Entre las ventajas del nuevo sistema se cuentan los costos bajos de instalación, la facilidad de operación, el hecho de aplicar caudales por surco no erosivos, el ahorro de agua por pérdidas casi nulas por escorrentía y la oportunidad de aumentar el tonelaje de caña, en particular en el piedemonte, donde se ha estimado una relación beneficio/costo de 1.5 en aplicaciones con caudal reducido por surco alterno-alterno.

Además de contribuir al uso sostenible del agua en zonas donde es escasa, este sistema de alta frecuencia (cada dos semanas en el piedemonte en caso de que no se presenten lluvias) permite que la persona dedicada a la labor realice otras actividades durante el evento de riego, debido al tiempo requerido para el avance del agua hasta el final de los surcos. El riego con caudal reducido puede ser utilizado en cualquier sistema productivo de acuerdo con los criterios definidos en la investigación.

## Fertirriego en aplicaciones por goteo o con caudal reducido

En el fertirriego los nutrientes que requiere el cultivo se aplican al suelo de manera fraccionada, diluidos en el agua de riego. En 25 hectáreas de la parte plana del valle del río Cauca (zona agroecológica 11H0) las evaluaciones de fertirriego mostraron las mayores producciones de caña con la CC 85-92 cuando se aplicó la dosis de nitrógeno (N) y potasio (K) recomendada por Cenicaña. La respuesta del cultivo no mostró diferencias entre la fertilización mecánica convencional y el fertirriego por goteo, en el que se aplicó el 60% de la dosis de N y K recomendada. Los resultados señalan la oportunidad de reducir las dosis de N y K mediante el fertirriego por goteo, lo cual representa menores costos de la labor de fertilización en sitios donde se cuenta con instalaciones de riego por goteo.

En el piedemonte, el fertirriego con N y K en aplicaciones con caudal reducido por surco alterno en la variedad CC 84-75 (plantilla) cultivada en una zona agroecológica

seca mostró resultados superiores en productividad y rentabilidad respecto al tratamiento convencional de fertilización líquida con aplicación manual y riego suplementario. Se consiguió un ahorro en el costo de los fertilizantes y aumentos en productividad entre 3 – 5 toneladas de caña por hectárea, sin diferencias en el contenido de sacarosa (% caña). Los resultados fueron obtenidos al aplicar en fertirriego el 62.5% de la dosis de N y K utilizada en el tratamiento de fertilización líquida convencional. No se encontraron diferencias en los contenidos de potasio y clorofila entre tratamientos.

El riego por goteo y el riego con caudal reducido son alternativas tecnológicas eficientes en relación con el uso del agua. El diseño de cada sistema tiene sus requerimientos específicos, y el fertirriego aporta valor agregado en la decisión de instalación de cualquiera de ellos. Mejores prácticas y menos insumos en las labores de riego y fertilización son componentes de la estrategia productiva que representa beneficios económicos para el agricultor con responsabilidad ambiental.

## Cultivo en zonas húmedas

En un área piloto de 17 hectáreas con problemas de nivelación y condiciones difíciles por exceso de humedad, donde la producción de caña no superaba el promedio de 83 TCH, se estableció un ensayo que luego de tres cortes (plantilla y dos socas) mostró ventajas en productividad y costos.

De acuerdo con los criterios de diseño de campo en las zonas húmedas, en el área piloto se conformaron surcos de 90 – 110 metros de longitud y se construyeron colectores secundarios espaciados entre 150 – 300 metros. La nivelación de precisión se hizo en dos pendientes utilizando el método del centroide.

En este sitio experimental, luego de tres cortes con el nuevo diseño, la nivelación realizada y los colectores de drenaje construidos, se consiguió aumentar el tonelaje de caña por hectárea en 40% respecto al promedio histórico. La preparación con dos pases de rastra (36 discos de 24" o 44 discos de 26") y un pase de subsuelo mostró ventajas en costos y tonelaje. En las socas la mayor ventaja correspondió a la labranza mediante un pase de subsuelo ("subesca" o subsuelo triple).

Las decisiones de cambio técnico adoptadas en este ensayo fueron acordadas de modo conjunto entre Cenicaña y los técnicos del ingenio con base en los criterios definidos en la investigación y los paquetes tecnológicos utilizados en la producción comercial.

Las tierras cultivadas con caña de azúcar en el valle del río Cauca donde prevalecen condiciones de alta humedad en el suelo de modo permanente o temporal ocupan aproximadamente 55,000 hectáreas. En la mayor parte del área los suelos son de texturas finas a muy finas (60% en todo el valle) y la pendiente topográfica es menor del 1%. En las zonas húmedas, donde se presentan altas precipitaciones y niveles freáticos altos, durante las temporadas lluviosas se dificultan las labores de cultivo y cosecha, lo cual repercute negativamente en los indicadores de productividad. Además, en las temporadas secas el riego es una práctica generalizada en cañas menores de diez meses. En estas condiciones de cultivo es necesario que las decisiones de diseño de campo y nivelación del terreno tengan en perspectiva la integración de los criterios conocidos para la operación eficaz de los sistemas de riego y drenaje según los requerimientos de la caña.

## Nutrición y fertilización

### Uso de subproductos del proceso sucro-alcoholero

En los procesos de producción de azúcar y etanol se generan subproductos como bagazo, cachaza, vinazas, lodos y cenizas que luego de ser sometidos a compostaje son utilizados en los campos de cultivo para propiciar el mejoramiento de las características físico-químicas de los suelos.

Los resultados obtenidos por Cenicaña confirman el efecto positivo del compost en la productividad de las tierras cultivadas con caña de azúcar y señalan pautas para aumentar la eficiencia de su uso en los suelos del valle del río Cauca.

En evaluaciones de campo se confirmó que la aplicación de vinaza reemplaza muy bien el KCl (cloruro de potasio) sin afectar la productividad y con la ventaja que el potasio y los otros nutrimentos que contiene provienen de la misma extracción que realizó la caña de azúcar del suelo durante su ciclo de desarrollo. Además, se ha encontrado que la vinaza funciona muy bien como vehículo del N y otros fertilizantes que se pueden aplicar en mezcla con ella.

Las conclusiones se basan en los resultados de tres cortes (plantilla y dos socas) con la variedad CC 85-92 en el Ingenio Risaralda (zona agroecológica 8H5) donde las aplicaciones de compost estabilizado (120 días de maduración) indujeron aumentos en productividad.



El compost obtenido a partir de subproductos del proceso azucarero contiene sustancias húmicas y fuentes de nutrimentos que contribuyen al mantenimiento y el mejoramiento de los suelos cultivados con caña de azúcar en el valle del río Cauca.

En la plantilla, el uso de 5 t/ha de compost causó un incremento significativo de la productividad en términos de TCH (28%) y TAH (46%) en comparación con los tratamientos sin compost. La precipitación durante los primeros cuatro meses del cultivo alcanzó los 748 mm.

En la primera soca se observó un incremento generalizado de 33% en la productividad, en promedio, con respecto a la plantilla. La dosis de 5 t/ha de compost produjo aumentos en TCH (15%) y TAH (18%) respecto a los tratamientos sin compost. Esta vez la precipitación durante los primeros cuatro meses (317 mm) fue menor que la ocurrida en la plantilla y el patrón de precipitación se ajustó mejor a los requerimientos de la caña.

Finalmente, en la segunda soca se presentó alta precipitación (890 mm) durante los primeros cuatro meses, lo que produjo una depresión generalizada de la productividad del orden de 32% con respecto a la plantilla. Aun así, los tratamientos con 5 t/ha de compost presentaron incremento de la productividad en términos de TCH (23%) y TAH (29%).

El compost obtenido a partir de subproductos de la agroindustria de la caña de azúcar contiene sustancias húmicas y fuentes de nutrimentos que aportan al mantenimiento y mejoramiento de los suelos dedicados al cultivo. La investigación continuará a fin de avanzar en el conocimiento acerca de los efectos del compost en las propiedades físicas del suelo, la actividad de los microorganismos y las emisiones de carbono a la atmósfera.

## Variedades eficientes en el uso del nitrógeno

El nitrógeno (N) es un nutrimento que presenta una gran complejidad tanto en su ciclo edáfico como en su ciclo fisiológico en las plantas. El manejo del N es un reto para los agricultores, que deben aplicarlo en la dosis requerida. La aplicación de dosis por encima de lo necesario genera un riesgo ambiental debido a la contaminación de acuíferos y al incremento de la emisión de gases de efecto invernadero, además de la pérdida económica pues el uso excesivo de este nutrimento no induce aumentos de productividad y sí reduce la rentabilidad por mayores costos de producción.

Así, con el objetivo de identificar las características moleculares y espectrales de la caña de azúcar que están asociadas con la eficiencia en el uso del N, en los invernaderos de la Estación Experimental de Cenicaña se inició la evaluación de cien genotipos del banco de germoplasma utilizando un sistema hidropónico de cultivo.

Hasta diciembre de 2011 se contaba con los datos del cultivo hidropónico de veinte variedades, las cuales fueron también objeto de caracterización radiométrica en las hojas. Los productos esperados de la investigación en el mediano plazo incluyen la identificación de genes y rangos de reflectancia espectral del follaje asociados con el uso eficiente del N en caña de azúcar. En el largo plazo, se espera utilizar este conocimiento en los procesos de selección y mejoramiento varietal y en el monitoreo del cultivo por medio de percepción remota, a fin de contribuir en la obtención y desarrollo de variedades de caña de azúcar que aseguren alta productividad con requerimientos bajos de N.

El sistema hidropónico ha servido para que estudiantes y jóvenes investigadores conozcan esta técnica de cultivo que será útil en estudios similares al descrito.

## Factores que afectan la producción de la caña de azúcar

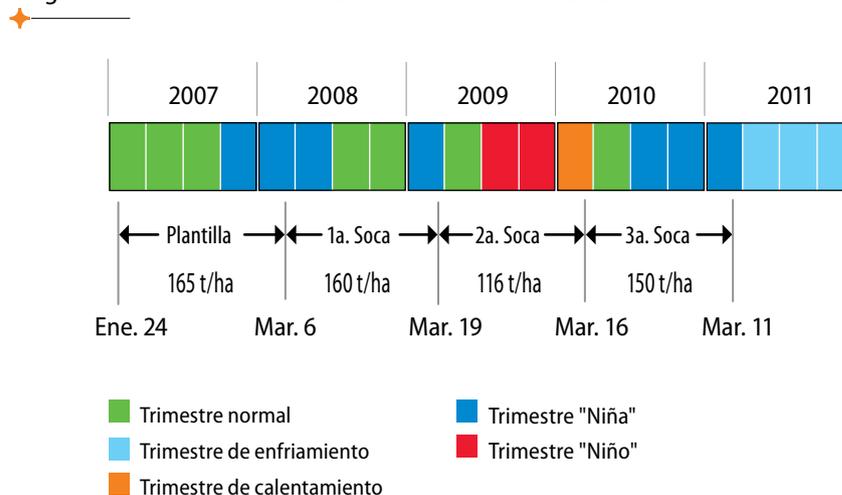
### Efecto de los fenómenos "El Niño" y "La Niña" en la producción de caña

El crecimiento de las plantas es influenciado por las diferencias climáticas existentes entre lugares, y en una misma localidad el crecimiento varía de unos años a otros como respuesta a las diferencias que se presentan en el clima local. Sin embargo, es muy poco lo que se conoce acerca de la forma como el crecimiento y finalmente la producción están relacionados con el clima y, con frecuencia, se ignora la importancia de los cambios en la climatología durante el desarrollo de un cultivo y su influencia sobre la producción.

Seguimientos semanales del contenido de humedad en el perfil del suelo (0 – 160 cm de profundidad) permitieron establecer que la prolongada sequía que agotó las reservas de agua en el suelo debido al fenómeno de "El Niño" del año 2009 disminuyó la producción de caña en cerca de 40 t/ha en una segunda soca de la variedad CC 85-92 en un suelo de familia textural francosa gruesa sobre arcillosa. La producción promedio de la segunda soca fue de 116 t/ha, mientras que la primera soca produjo 160 t/ha y la plantilla 165 t/ha en años normales y con influencia de "La Niña". El fenómeno de "La Niña" que se presentó en el segundo semestre de 2010 permitió la recuperación de las reservas de agua en el suelo, estimuló el crecimiento y finalmente la producción promedio de la tercera soca se recuperó y alcanzó 150 t/ha (**Figura 19**).

Este comportamiento, que es característico de suelos secos, puede invertirse en suelos húmedos en los cuales la abundante precipitación, propia del fenómeno de "La Niña", causa exceso de humedad en el suelo, lo cual afecta el crecimiento y la producción del cultivo.

Figura 19. Producción de caña en diferentes condiciones climáticas.



## Maduración de la caña de azúcar

### Maduración de cañas volcadas

El volcamiento de los tallos es un fenómeno muy común en campos con alta producción de caña. Muchos de los tallos volcados se quiebran y se secan, por lo cual dejan de ser tallos molederos. Los tallos volcados son más vulnerables a la infestación de algunas plagas y presentan brotación de yemas y formación de raíces aéreas, lo cual afecta la calidad de la caña y dificulta la cosecha manual o la mecánica. El volcamiento reduce el área foliar efectiva del cultivo y la fotosíntesis neta y por lo tanto disminuye la producción y el rendimiento.

Las plantas se recuperan del volcamiento mediante la curvatura del tallo para crecer de nuevo en posición vertical. La eficacia de los maduradores cuando se aplican en cañas volcadas es incierta y puede depender en buena medida del tiempo transcurrido entre el momento del volcamiento y la aplicación del madurador.

Con el propósito de medir el efecto del volcamiento y la aplicación de los maduradores en las variedades CC 93-4418 y CC 85-92 se realizó un experimento en la hacienda La Trocha del ingenio Incauca. El volcamiento de la caña afectó el contenido de sacarosa en 0.7 unidades porcentuales en promedio y la respuesta al madurador en 0.9 unidades porcentuales en promedio, especialmente en la variedad CC 85-92 que tuvo mayor volcamiento. No se observaron problemas de fitotoxicidad o de baja germinación en el rebrote del cultivo siguiente por el uso del madurador en las áreas que presentaron volcamiento, debido posiblemente a que había muy pocos chulquines al momento de hacer la aplicación, a pesar de que la caña tenía casi dos meses de haberse volcado.

Las evaluaciones proseguirán para recopilar más información del efecto de los maduradores en cañas recién volcadas y en lo posible, estudiar el efecto del volcamiento en la producción de caña.

#### MADURACIÓN

### NATURAL

Entre 12.0 - 13.9 meses de edad

#### CC 93-4418

0.3-1.3 unidades porcentuales más de sacarosa % caña que CC 85-92

#### CC 01-1228

0.5-1.5 unidades porcentuales más de sacarosa % caña que CC 85-92

### Maduración de las nuevas variedades

Para obtener mayores contenidos de sacarosa al momento de la cosecha se recurre al uso de maduradores en el área que se cosecha cada año. La respuesta a los maduradores depende de muchos factores, no todos ellos estudiados completamente, pero por lo general se acepta que depende en gran parte de la condición del cultivo al momento de la aplicación y después de ella, y que está muy influenciada por la variedad de caña.

Durante el 2011 se evaluó la respuesta de las variedades CC 93-4418 y CC 01-1228 al madurador, utilizando la CC 85-92 como variedad testigo. El contenido de sacarosa de la variedad CC 93-4418 durante el proceso de maduración natural fue mayor que en la variedad CC 85-92 en valores que oscilaron entre 0.3 y 1.3 unidades porcentuales. Sin embargo, la buena respuesta de la variedad CC 85-92 al madurador le permitió alcanzar contenidos de sacarosa similares a los de la variedad CC 93-4418, aunque en esta última se aplicó un 67% más de la dosis del madurador.

También el contenido de sacarosa de la variedad CC 01-1228 fue superior entre 0.5 y 1.5 unidades porcentuales al de la variedad CC 85-92 durante el período de maduración natural comprendido entre los 12 - 13.9 meses de edad. La CC 01-1228 presentó mayor resistencia a los maduradores del tipo reguladores de crecimiento que la variedad CC 85-92, y por consiguiente se puede concluir que requiere hasta un 80% más de la dosis que normalmente se usa con la variedad CC 85-92, cuando ambas presentan condiciones similares de producción de caña y disponibilidad de humedad.

## Evaluación de productos maduradores

Continuando con la búsqueda de productos maduradores alternativos a los reguladores de crecimiento, Cenicaña evaluó durante la segunda temporada seca y período de transición de 2011 (julio, agosto y septiembre) varios fertilizantes foliares tales como K-Fol<sup>®</sup>, Cosmomadurador<sup>®</sup>, Biomadurador<sup>®</sup>, Brixser<sup>®</sup>, AMCIX<sup>®</sup>, Rendimiento<sup>®</sup>, Naturfruit Basic<sup>®</sup>, Nutricom<sup>®</sup> y Foskaptim<sup>®</sup>. Aunque se esperaba que estos productos mostraran alguna respuesta en las condiciones de sequía imperantes durante la evaluación, esto no sucedió. El aumento de sacarosa ocurre por la regulación natural del crecimiento que produce el estrés hídrico y era de esperar que los productos alternativos ayudaran un poco en la producción de más sacarosa, su transporte y almacenamiento. En el año 2010 la mayoría de las evaluaciones de los productos alternativos se hicieron en los períodos lluviosos y tampoco se observó ninguna respuesta.

## Mecanización

### Impacto del tráfico durante la cosecha en la productividad

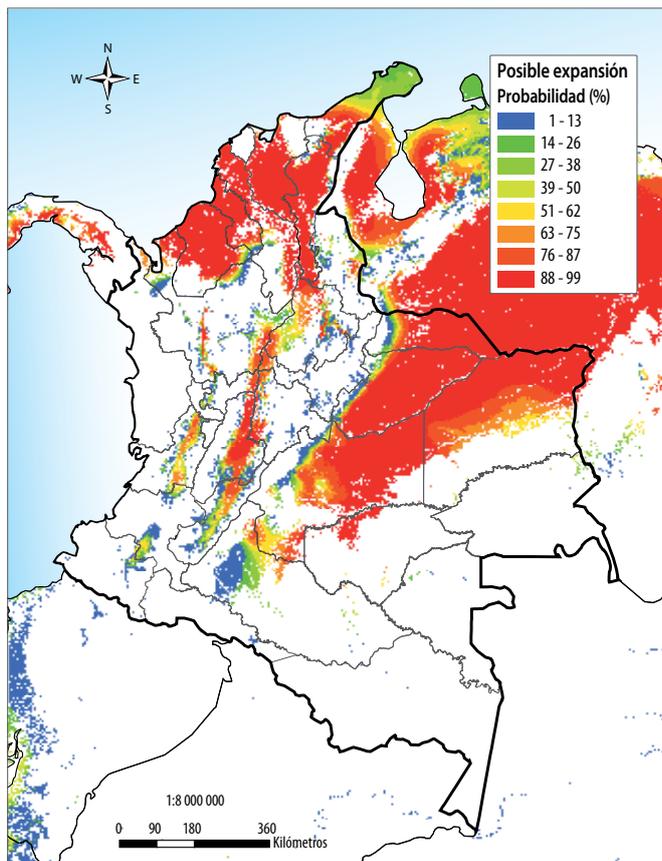
El tráfico de equipos durante la cosecha causa compactación y pisoteo directo sobre la cepa en magnitudes que dependen del peso y las dimensiones de los equipos y de factores relacionados con el diseño de campo, como la distancia entre surcos y el ancho de los callejones. Así, los efectos del tránsito sobre el suelo y el cultivo se relacionan con la intensidad de tráfico y el pisoteo.

La cosecha mecánica realizada con vagones individuales (HD8000, autovolteo, HD12000 o HD20000) genera intensidades de tráfico entre 240 - 320 Mg\*km/ha, pisoteo en la cabecera de 8.5 - 17.7 m/surco y pisoteo sobre la cepa hasta el 24% de su ancho. Los vagones pesados y de alta capacidad (HD20000 y HD12000) causaron el mayor efecto en productividad, con diferencias hasta de 14% en TCH respecto a los sistemas de cosecha con vagones de menor tamaño y capacidad (HD8000 y autovolteo).

En la cosecha semimecánica con trenes de dos a cinco vagones (HD8000, autovolteo, HD12000 o HD20000) disminuye la intensidad de tráfico porque se incrementa el área cosechada en cada viaje de los equipos, pero aumenta notablemente el pisoteo tanto en las cabeceras del lote como a lo largo del surco, por las dificultades de maniobra. En este tipo de cosecha el TCH disminuyó entre 3 - 4% por el uso de vagones de mayor tamaño (HD12000 y HD20000).

Los resultados muestran que las características de los vagones inciden en los efectos que cada sistema de cosecha causa sobre el suelo y el cultivo. Vagones de mayor tamaño crean mayor intensidad de tráfico y son potencialmente más propensos a causar pisoteo e inducir mayor daño. Dichos efectos se manifiestan con mayor gravedad en la cosecha mecánica, principalmente por las mayores intensidades de tráfico. Los efectos del tráfico se pueden aminorar con la administración de la cosecha tendiente a disminuir la intensidad de tráfico y el pisoteo con la selección adecuada de equipos y el manejo de cargas y recorridos. Los resultados de esta investigación revelan la necesidad de regular las cargas y relacionar las dimensiones de los equipos con los diseños de campo (Ver también página 28).

Figura 20. Mapa probabilístico de zonas con potencial para el cultivo de la caña de azúcar, Colombia.



## Geomática

### Zonas con potencial para el cultivo de la caña de azúcar en Colombia

El mapa de la **Figura 20** muestra las áreas con potencial de expansión del cultivo de la caña de azúcar en Colombia, identificadas por Cenicaña con base en datos e información geográfica, topográfica y climatológica. Dichas zonas se encuentran concentradas principalmente en la Costa Atlántica, los Llanos Orientales y el valle del río Magdalena a la altura de los departamentos del Huila y Tolima. Para la modelación y creación de los mapas probabilísticos se usó el software OpenModeller con datos topográficos y de clima (altitud, medias mensuales del período 1950-2000 de temperaturas media, mínima y máxima, precipitación y 19 variables bioclimáticas) de la base de datos Worldclim <<http://www.worldclim.org/>>.

Como parte de la metodología, sobre las imágenes del territorio se ubicaron cien puntos de 'presencia de caña de azúcar' y cincuenta puntos de 'ausencia de caña', estos últimos en sitios donde la especie no puede sobrevivir por las condiciones propias del clima. Con las capas de datos organizadas se corrieron diversos modelos de simulación que dieron lugar a distintos mapas probabilísticos, como el que se muestra en la figura.



## Servidor de Mapas en dispositivos móviles

Los teléfonos inteligentes pueden ser utilizados ahora por los agricultores para acceder al Servidor de Mapas de Cenicaña, Sistema de Información Geográfica (SIG) que contiene cartografía básica por suerte de caña, junto con cartografía temática documentada sobre los suelos (estudios detallados), el clima (RMA), las zonas agroecológicas (cuarta aproximación), la producción azucarera, las zonas de restricción de quemas agrícolas, imágenes de satélite y valores de índices de vegetación acerca del desarrollo del cultivo.

Para utilizar el servicio se puede capturar la imagen del código QR o de 'respuesta rápida' que contiene los datos de la ruta de acceso, o escribir la dirección de enlace <<http://arequipe.cenicana.org/mapas/mobile.php>> en el navegador de internet.



Código QR  
Servidor de Mapas

## Meteorología y climatología

### Zonas climáticas homólogas en el valle del río Cauca y su dinámica en situaciones "Niño" y "Niña"

Los fenómenos oceánico-atmosféricos "El Niño" y "La Niña", por su efecto sobre los patrones climáticos de las diferentes zonas del valle del río Cauca, afectan de diferentes formas el desarrollo socio-económico de la región y particularmente las actividades y procesos de la agroindustria de la caña de azúcar.

A partir de los datos meteorológicos registrados desde 1993 por las estaciones de la Red Meteorológica Automatizada administrada por Cenicaña, mediante el uso de técnicas estadísticas y de inteligencia artificial (redes neuronales, mapas de Kohonen, *clustering* de agrupamiento y factorial, reconocimiento de patrones y minería de datos) se identificaron cinco zonas climáticas homólogas, diferenciadas unas de otras por el comportamiento de los componentes energético, térmico, hídrico e higrico del clima, pero con similitud de este comportamiento en cada zona identificada (**Cuadro 6**). Como se muestra en la **Figura 21**, la conformación y distribución espacial de las zonas climáticas homólogas varía en situaciones "Niño" y "Niña".

### Consultas Web a la base de datos climatológicos

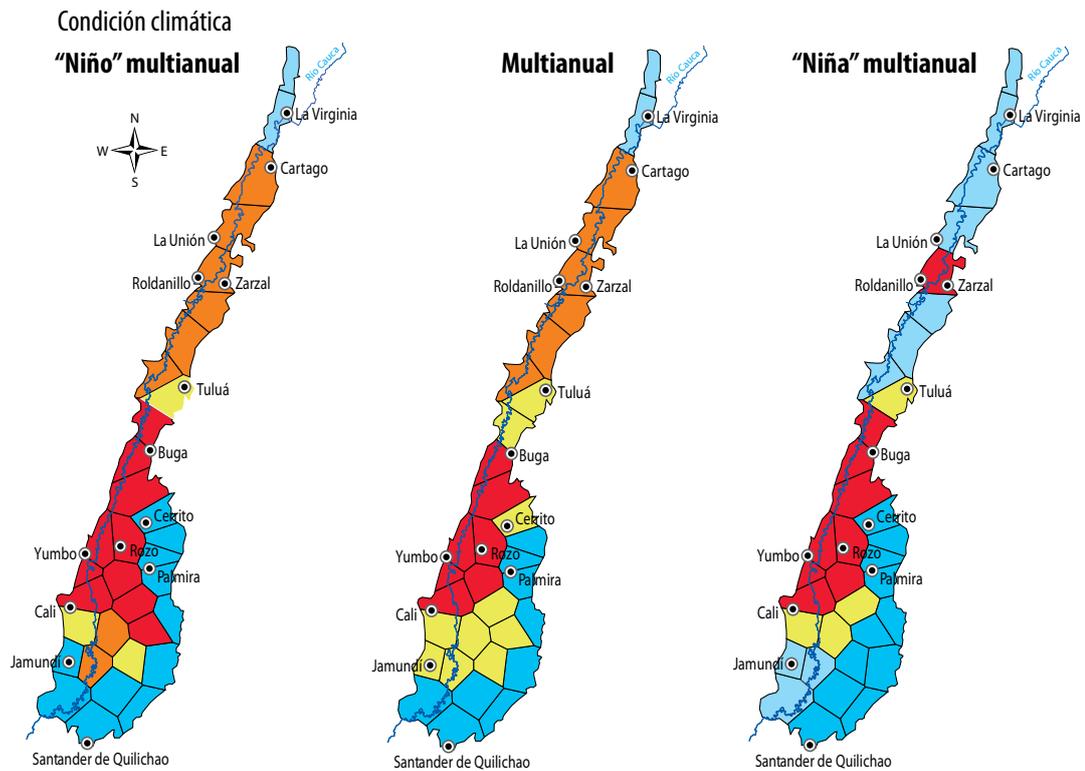
En la fase de pruebas de usuario se encuentra la segunda versión del sistema de consultas a la base de datos climatológicos de Cenicaña, una herramienta de tecnología informática amigable, práctica y versátil, que ofrece datos climatológicos horarios y diarios de las diferentes variables atmosféricas para períodos como días, décadas, meses, trimestres, temporadas pluviométricas, semestres y años. La primera versión del sistema fue puesta a disposición de los usuarios del sitio web de Cenicaña en el año 2003.

Las ventajas principales de la nueva versión son: velocidad de respuesta, datos de "última hora" con sus respectivos gráficos, facilidades para el manejo de archivos de datos, algunas funciones básicas de análisis de datos y presentación de los respectivos valores climatológicos (de largo plazo) y de anomalías (diferencia entre el valor histórico y el climatológico) junto con los valores históricos de las variables de interés (consulta). ●

Cuadro 6. Componentes del factor “clima” para las diferentes zonas climáticas homólogas en el valle del río Cauca. Condición general multianual.

Zona climática homóloga	Componente climático			
	Energético Radiación solar, temperatura máxima y evaporación	Térmico Temperatura media y oscilación de temperatura	Hídrico Precipitación y número de días con precipitación	Higrico Humedad relativa y oscilación de humedad relativa
1	Muy alto	Bajo	Muy alto	Muy bajo
2	Muy bajo	Muy bajo	Alto	Bajo
3	Alto	Alto	Bajo	Alto
4	Bajo	Intermedio	Intermedio	Intermedio
5	Intermedio	Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Figura 21. Zonas climáticas homólogas en el valle del río Cauca. Distribución en años con influencia de los fenómenos “El Niño” y “La Niña” y en condiciones normales de clima (multianual). Ver clave de colores en el Cuadro 6.



En cooperación con la industria, Cenicaña ha desarrollado herramientas de análisis para la evaluación de proyectos de cogeneración e integración energética que tienen la ventaja de haber sido diseñadas de acuerdo con los requerimientos de los ingenios colombianos.



# Programa de Procesos de Fábrica

**Misión** Contribuir al mejoramiento de los procesos fabriles que se desarrollan en el sector azucarero colombiano, siguiendo los principios de la sostenibilidad ambiental, la optimización de la tecnología y la rentabilidad económica.

- 76** Uso racional de energía
- 80** Operaciones unitarias
- 84** Aseguramiento metrológico en el balance de azúcares
- 85** Etanol



## Uso racional de energía

### Integración energética y cogeneración

Los excedentes de energía eléctrica generados en los procesos productivos de la industria azucarera colombiana aumentaron en 360% en la última década, mientras la capacidad de cogeneración creció en 20%. Con una capacidad instalada para la producción de energía eléctrica de 180 MWh en 2011, los excedentes alcanzaron la cifra de 53 MWh este año.

De acuerdo con las necesidades de innovación de la agroindustria, desde 1994 Cenicaña ha apoyado la gestión energética del sector y, gracias al conocimiento adquirido en la experiencia de aprendizaje conjunto en los ingenios, ha desarrollado herramientas de análisis para la evaluación de proyectos de cogeneración e integración energética, las cuales son objeto de mejora continua.

Los sistemas de información de los ingenios y las herramientas adecuadas para modelar los procesos de uso y cogeneración son insumos necesarios en el sistema de gestión energética. Las herramientas computacionales de análisis desarrolladas por Cenicaña tienen la ventaja de haber sido diseñadas de acuerdo con los requerimientos de los ingenios colombianos y por tanto se adaptan a la dinámica de las instalaciones fabriles del valle del río Cauca.

En 2011 Cenicaña colaboró con diez ingenios en las evaluaciones del sistema de cogeneración con el fin de calcular el indicador REE (rendimiento eléctrico equivalente) que les exige la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para ser aceptados como cogeneradores en el mercado eléctrico nacional. En las evaluaciones se identificaron las variables necesarias para el cálculo del REE y se estimó el índice de cada ingenio considerando la sensibilidad de las variables ante cambios de calidad del combustible y cambios en las redes de intercambio de calor. Dos ingenios implementaron la determinación en línea de las variables del REE, para lo cual Cenicaña desarrolló la metodología de cálculo del consumo de bagazo en calderas como función de la velocidad de los alimentadores de bagazo, propuesta que fue avalada por los auditores.

Cenicaña desarrolló una metodología para calcular el consumo de bagazo en las calderas como función de la velocidad de los alimentadores del combustible.





El bagazo es una fuente de energía natural y renovable, y existe tecnología que se puede adoptar para mejorar la eficiencia energética en la producción de azúcar y etanol, innovando en infraestructura e integrando procesos, en función del uso racional del recurso y la cogeneración de electricidad.

## Eficiencia de uso y generación de energía

Aprovechar de modo eficaz el bagazo resultante de la molienda de caña –que se encuentra disponible en las instalaciones fabriles de la industria azucarera– es uno de los retos principales de los ingenios comprometidos con el desarrollo energético del sector y la sostenibilidad de la agroindustria. Esta fuente de energía natural es renovable y existe tecnología que se puede adoptar para mejorar la eficiencia energética en la producción de azúcar y etanol, innovando en infraestructura e integrando procesos, en función del uso racional del recurso y la cogeneración de electricidad.

El bagazo, junto con el carbón y otros combustibles, se utiliza en las calderas de los ingenios para generar vapor vivo o de alta presión, el cual, mediante turbinas de vapor y turbogeneradores, es transformado en energía mecánica y eléctrica que se aprovecha para accionar las máquinas de preparación y molienda y suministrar electricidad en las instalaciones fabriles; los excedentes de electricidad se comercializan a través de la red pública nacional. El vapor que sale de las turbinas y los turbogeneradores de contrapresión se conoce como vapor de escape, es de baja presión y su energía térmica es aprovechada en los procesos de elaboración de azúcar y etanol.

Durante 2011 Cenicaña evaluó la factibilidad técnica y económica de algunas propuestas y proyectos de cogeneración e integración energética en los ingenios azucareros. Las conclusiones y recomendaciones más destacadas se presentan a continuación.

De acuerdo con la metodología de evaluación, el estudio de factibilidad comienza con las auditorías energéticas para identificar la línea base de eficiencia energética en las distintas etapas del proceso de producción de azúcar y etanol. Luego, con los informes de auditoría y el uso del software Ceniprof v.1.0<sup>®</sup> se identifican y analizan los procesos específicos que más afectan el balance de masa y energía. Finalmente, mediante modelos de simulación se determina la factibilidad técnica y económica de los esquemas de integración energética propuestos según los objetivos del proyecto, y según las conclusiones y recomendaciones se toman las decisiones de inversión, cambio técnico e innovación tecnológica.

## Preparación y molienda

Una estación de preparación de caña demanda entre 43 - 50 kilovatios por tonelada de fibra procesada por hora (kWh/TFH) según se opere con una sola desfibadora de trabajo pesado o con picadora y desfibadora. En molienda se requieren entre 9.7 - 12.7 kWh/TFH por molino, según el tamaño de los equipos.

Simulaciones realizadas por Cenicaña para el análisis de escenarios de integración energética señalan ventajas en la eficiencia de uso y producción de energía al reemplazar las turbinas de vapor de baja eficiencia por motores eléctricos, una decisión que debe ir acompañada de los cambios tecnológicos pertinentes en la generación de vapor mediante el uso de calderas de alta presión y turbogeneradores de alta eficiencia.

Las ventajas del escenario de electrificación descrito dependen de la selección cuidadosa de los equipos y sus periféricos y de las prácticas de mantenimiento preventivo adecuadas a las nuevas tecnologías. El análisis de este escenario con Ceniprof® señala que:

- Con la misma cantidad y calidad de combustible utilizado para generar el vapor vivo y accionar las turbinas de baja eficiencia se puede producir un vapor de mayor temperatura y presión, que al pasarlo por un turbo genera la energía para accionar eléctricamente los equipos de preparación y molienda y un excedente de 4 MWh aproximadamente.
- Electrificar los accionamientos junto con los cambios tecnológicos en calderas y turbogeneradores mejora la estabilidad del proceso de generación de vapor y por consiguiente el flujo de vapor de escape para uso en elaboración. Esta cualidad contribuye significativamente en la estabilidad del proceso azucarero, facilita el control y suma eficiencia y confiabilidad en las operaciones.
- El cambio por motores eléctricos reduce el nivel de ruido en la fábrica con beneficios para los trabajadores y el medio ambiente.

El bagazo, junto con el carbón y otros combustibles, se utiliza en las calderas de los ingenios para generar vapor vivo o de alta presión, el cual, mediante turbinas de vapor y turbogeneradores, es transformado en energía mecánica y eléctrica que se aprovecha para accionar las máquinas de preparación y molienda.



## Elaboración

Con el propósito de reducir el consumo de energía térmica en los procesos de elaboración, utilizando el software Ceniprof® se estimó el balance de masas y energía con diferentes esquemas de integración energética.

Los resultados confirmaron las recomendaciones anteriores de Cenicaña en cuanto al uso de vapores del tercero y cuarto efecto (estación de evaporación) para el calentamiento de jugo diluido y de los tachos de cristalización. Así mismo, para el calentamiento de jugo se confirmó la ventaja de usar los condensados e incondensables generados en los cuerpos de los evaporadores.

En otro escenario dado por el uso de calentadores por contacto directo se identificaron ventajas relacionadas con la simplicidad de los equipos y los bajos costos de operación y mantenimiento.

Adicionalmente, con el mismo propósito de disminuir el consumo de energía en evaporación, en el período 2009-2011 se llevaron a cabo evaluaciones de un evaporador piloto tipo Robert de tubos largos, diseñado y construido junto con el Ingenio Mayagüez. El equipo se instaló en el tercer efecto de la estación de evaporación del ingenio, donde estuvo operando en paralelo con el evaporador Robert convencional. Los valores del coeficiente de transferencia de calor fueron 20% superiores en el equipo de tubos largos respecto al evaporador convencional, lo que representó una disminución entre 0.5 – 1.0% del consumo de vapor de escape y estabilidad de las variables de control. La modificación de los evaporadores comerciales que operaban como segundo y tercer efecto en el ingenio permitió eliminar el déficit de área de transferencia de calor que éstos presentaban, de forma que en las operaciones a escala comercial se corroboró lo observado en el equipo experimental.

### MICROPIROLIZADOR

## PILOTO

Productos de la pirólisis de RAC

<b>Condensables</b>	69.4%
<b>Biochar</b>	7.3%
<b>Biogas</b>	4.4%
<b>Humedad</b>	19%

## Pirólisis de residuos agrícolas de cosecha (RAC)

Este proyecto de investigación básica se lleva a cabo con el objetivo de determinar la factibilidad técnica y económica del uso de la tecnología de pirólisis de biomasa en el sector azucarero colombiano. Para el efecto, durante el 2011 se puso en marcha un equipo micropirólizador piloto de operación continua y se tomaron una serie de muestras de bioaceite y biochar, productos de la pirólisis de RAC, que fueron analizadas en su composición y poder calorífico en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por su sigla en inglés) del Departamento de Energía de los Estados Unidos. La caracterización de estos productos se enmarca en un proyecto colaborativo entre el NREL, el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), el Centro de Investigación de Palma de Aceite (Cenipalma) y Cenicaña.

La eficiencia energética del proceso en el micropirólizador piloto fue estimada en 33% en promedio en los ensayos realizados. Se empleó el modelo de cinética de reacción de Miller-Bellan para la predicción del potencial de formación de productos (sin reacciones secundarias) en un proceso de pirólisis rápida a partir de los constituyentes básicos de la biomasa (celulosa, hemicelulosa y lignina). El modelo indicó el potencial de formación de productos de la pirólisis de RAC de caña, así: condensables, 69.4%; biochar, 7.3%; biogas, 4.4% y humedad, 19%. Se espera construir un pirólizador continuo para proseguir con la investigación.

## Operaciones unitarias

### Limpieza en seco de RAC en la caña moledera

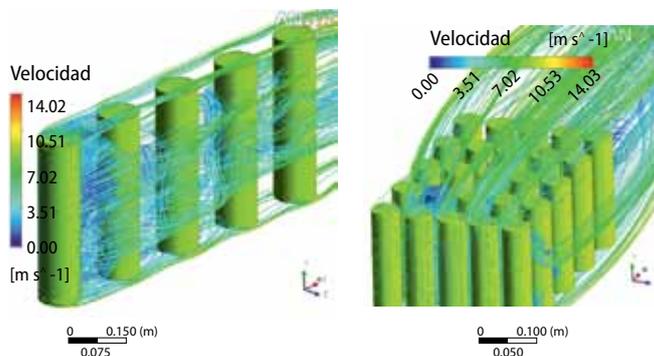
En las condiciones del valle del río Cauca, en términos generales se puede decir que por cada tonelada de caña que es enviada al molino, en el campo queda una cantidad aproximada de 0.5 toneladas de residuos de cosecha. Actualmente, los residuos son dejados en el campo de cultivo y la cantidad que llega a la fábrica con la caña moledera es considerada como materia extraña, compuesta por materiales minerales y vegetales indeseables en el proceso de producción de azúcar.

Los residuos agrícolas de cosecha se están mirando como un insumo que podría ser utilizado como combustible en las calderas de las fábricas. Para ello Cenicaña ha comenzado a estudiar las rutas que pueden facilitar el uso de los RAC y su potencial energético. Una alternativa que se considera es el transporte de RAC con la caña moledera y su posterior separación en fábrica en estaciones de limpieza en seco. Para determinar la factibilidad técnica de la propuesta, Cenicaña y el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle desarrollaron la ingeniería básica de una estación neumática y simularon los parámetros físicos y mecánicos de la operación de limpieza mediante análisis computacional de dinámica de fluidos (CFD, por su sigla en inglés). En la **Figura 22** se muestran los perfiles de presión y velocidad de la interacción del flujo de aire con la caña, obtenidos con el software Ansys® v.12.1.

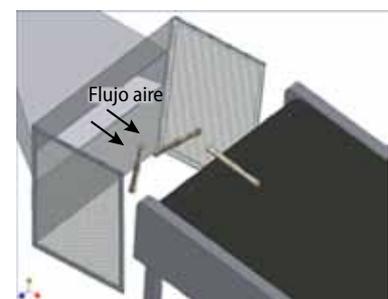
De acuerdo con los resultados de este análisis, se definió que la velocidad de aire mínima para una operación adecuada de limpieza puede variar entre 10 - 12 metros por segundo. Además, se estimaron indicadores de eficiencia de remoción de residuo por efecto de la dirección del flujo de aire y por efecto de la altura del colchón de caña, esta última regulada por la velocidad del conductor que entrega la materia prima a la fábrica de azúcar.

Figura 22. Simulación de la limpieza de caña troceada en una estación de limpieza en seco. Análisis computacional de dinámica de fluidos.

**Líneas de corriente de la velocidad del aire sobre la caña**



**Estación de limpieza en seco**



Respecto a la factibilidad económica de la limpieza neumática se formuló un modelo con dos enfoques: disminuir la quema de carbón o aumentar la cogeneración. El análisis señaló que en ingenios con calderas de media o baja presión (28 Bar) sería más rentable disminuir el consumo de carbón, con un ahorro estimado de 6.4 kg del combustible fósil por tonelada de caña sometida al proceso de limpieza. En ingenios con calderas de alta presión (65 Bar) sería más rentable aumentar la generación eléctrica, con un estimativo de 7.9 kWh de electricidad adicionales por tonelada de caña.

El desarrollo de modelos acerca de aspectos relacionados con el uso de los RAC en las calderas de los ingenios continuará, así como el estudio del potencial energético de estos componentes como fuente de combustible. Entre las evaluaciones por realizar se cuentan varias relativas a la cosecha.

## Preparación y molienda de caña con altos contenidos de RAC

Los indicadores de desempeño de las plantas azucareras son afectados por la calidad de la caña moledera que llega a la fábrica con residuos de cosecha. De acuerdo con la naturaleza de la materia extraña y su cantidad, es conocido que los RAC causan un efecto directo en las estaciones de preparación y molienda y en elaboración. A medida que aumenta la cantidad de RAC el efecto negativo es mayor: disminuye la calidad de preparación de la caña y por tanto la eficiencia de extracción; aumentan las pérdidas de sacarosa y los costos de mantenimiento de los equipos por desgastes prematuros, entre otros rubros.

En dos ingenios donde se evaluó el efecto en extracción por altos contenidos de RAC en la caña se identificaron ventajas con el uso de desfibradoras de trabajo pesado. Se confirmó que los valores de extracción global son menos sensibles a los cambios de calidad de la materia prima cuando se usan desfibradoras de trabajo pesado para la preparación de la caña.

En dos ingenios donde se evaluó el efecto en extracción por altos contenidos de RAC en la caña se confirmó que los valores de extracción global son menos sensibles a los cambios de calidad de la materia prima cuando se usan desfibradoras de trabajo pesado para la preparación de la caña.



De acuerdo con los objetivos del estudio, en cada ingenio se realizaron experimentos programados durante las operaciones corrientes de la fábrica utilizando caña proveniente de frentes de cosecha mecanizada. Las pruebas de molienda se hicieron aumentando progresivamente los contenidos de RAC desde valores del 6% hasta valores máximos entre 22.5 – 34.4% de la caña que entraba a los molinos; el porcentaje de hojas se incrementó de 50% hasta valores entre 80 – 85% del total del RAC, según el ingenio.

Los resultados mostraron que el incremento de 1% de RAC en la caña causó disminuciones entre 2.5 - 2.9% en la capacidad de molienda, aumento de 0.3% en fibra (% caña) y disminución de 0.023% en la relación entre sacarosa (% caña) y fibra (% caña). La extracción global disminuyó 0.12 unidades cuando se utilizó desfibradora de trabajo pesado, 0.16 cuando se usó desfibradora liviana y 0.25 cuando la caña fue preparada con picadoras.

Dotar la fábrica de equipos con mayor robustez contribuye a mantener la extracción global ante cambios en la calidad de la materia prima.

La experimentación proseguirá en ambos ingenios para determinar el rango del umbral de RAC que permita mantener estable la tasa de molienda. Las evaluaciones incluyen pruebas de fábrica con contenidos de RAC hasta valores intermedios de 15% en caña cosechada con máquina (apagando el ventilador secundario de la cosechadora y operando a bajas velocidades el primario) y cambios operativos en la fábrica.



## Balance global de agua

### en plantas de azúcar y etanol

Con el objetivo de diagnosticar la eficiencia de uso del agua en la industria azucarera y proponer alternativas de mejora en los sistemas de consumo y recirculación en las fábricas, Cenicaña elaboró un esquema básico para el balance de agua en el proceso de producción de azúcar, el cual fue utilizado para el efecto en dos ingenios durante 2011. De acuerdo con los resultados se estimó que en promedio cerca del 22% del agua presente en la caña podría ser tratada y aprovechada con fines diferentes a los actuales.

Debido a que los valores del indicador de consumo de agua fueron muy diferentes entre los dos ingenios (0.006 m<sup>3</sup> y 1.4 m<sup>3</sup> por tonelada de caña molida), en cada fábrica se están identificando las características de diseño y operación que puedan explicar las diferencias. Hasta el momento se ha identificado que el ingenio de menor consumo aprovecha el caudal de agua condensada del proceso mediante un sistema centralizado de colección, tratamiento y distribución.

La definición del esquema para el balance del agua en las fábricas de azúcar se complementará progresivamente con la caracterización de las diferentes corrientes de caudal de agua recuperadas en el proceso y con el esquema para el balance en las plantas de etanol. De esta forma se busca evaluar sistemáticamente la eficiencia de uso del agua e identificar los requerimientos de tratamiento y uso que contribuyan al aprovechamiento sostenible del recurso.

En relación con el flujo de agua de imbibición en la estación de molienda, Cenicaña desarrolló un modelo de control en línea de dicho flujo según la tasa de fibra instantánea que pasa por el molino. El modelo fue validado en un ingenio piloto donde se ajustaron los valores de imbibición (% fibra) según las metas de desempeño previstas, lo cual aportó positivamente en el indicador de extracción global del ingenio y redujo la cantidad de agua recuperada de condensados utilizada en el proceso de imbibición.

## Clarificación de jugos

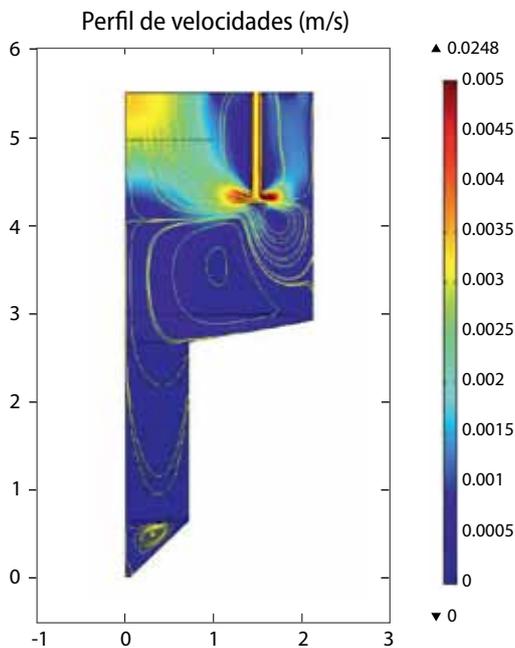
En cooperación con el Departamento de Química de la Universidad del Valle se implementaron las metodologías para caracterizar algunos floculantes comerciales en términos de peso molecular, grado de hidrólisis e impurezas. En la evaluación de estos polímeros en pruebas de jarras en el laboratorio se determinó que la calidad del jugo clarificado depende más de la naturaleza del floculante que de la cantidad aplicada. Así, el floculante apropiado para cada caso será diferente en función de las características físico-químicas del jugo por procesar. Los análisis de jugo diluido proveniente de cañas con un contenido de RAC de 23% mostraron que la calidad del jugo clarificado mejoró cuando se usaron floculantes con mayor grado de hidrólisis; la turbidez alcanzó valores cercanos al valor deseado de 10 unidades de absorbancia a 900 nm.

De otra parte, a fin de mejorar los procesos de producción de cal viva e hidróxido de calcio en empresas proveedoras de estos insumos, en 2011 se identificaron las variables de operación de mayor influencia en la calidad y cantidad de cal viva y se plantearon alternativas de cambio técnico en el proceso de producción de hidróxido de calcio.

Los beneficios del uso de hidróxido de calcio registrados en la literatura hacen referencia a algunos aspectos como la menor tasa de incrustación en evaporadores, la disminución de eventos de taponamiento de tuberías y la reducción del desgaste de bombas. El hidróxido de calcio producido por un proveedor de la región que implementó los cambios sugeridos por Cenicaña está siendo utilizado a escala industrial en un ingenio para el encalado de jugo diluido, con buenos resultados.

En relación con el rediseño de equipos, en el Ingenio María Luisa se modificó el volumen del clarificador comercial a fin de reducir el tiempo de residencia de jugo diluido, que era de aproximadamente 85 minutos, sin afectar la calidad del jugo clarificado. El cambio ha permitido la operación corriente en la fábrica y se ha logrado disminuir la degradación de sacarosa por acción química o microbiana. Las modificaciones de diseño del clarificador fueron propuestas por Cenicaña con base en el análisis CFD de parámetros específicos como los perfiles de velocidad ascendente y velocidad en la interfase lodos-jugo (**Figura 23**).

Figura 23. Simulación de los perfiles de velocidad del clarificador modificado.



## Reducción de pérdidas indeterminadas

Cenicaña realiza investigaciones orientadas al diagnóstico de las pérdidas de sacarosa no cuantificadas en las diferentes etapas del proceso fabril como punto de partida para la formulación de alternativas de control de los procesos asociados con la reducción de dichas pérdidas. Como resultado de la experimentación se han identificado las variables asociadas con la calidad de la caña y las condiciones de cosecha que contribuyen a explicar algunas pérdidas usualmente no cuantificadas. Entre las variables principales se cuenta la precipitación durante los días de cosecha, que cuanto más aumenta en cantidad más favorece el incremento de la materia extraña mineral en la caña moledera. El exceso de precipitación facilita los procesos de deterioro microbiano y afecta otras variables relativas a la cosecha y la fábrica, como la edad de la caña, el tipo de corte, el tipo de quema y el tiempo perdido en campo y fábrica.

En un ingenio que reportó en el primer trimestre del 2011 incrementos de 50% en las pérdidas indeterminadas habituales, el diagnóstico señaló que las pérdidas de sacarosa estuvieron asociadas con el exceso de lluvias del primer trimestre que influyó en el aumento del tiempo de permanencia de la caña en el campo, la disminución de la tasa de molienda (menor entre 7 - 10%) y el tiempo de permanencia de los materiales en proceso, con mayor presencia de azúcares reductores en los jugos. A partir de los resultados se han planteado nuevos estudios para confirmar el efecto del porcentaje de azúcares reductores en la cinética de deterioro de la sacarosa. En el área de tachos del ingenio se identificó que durante la operación de arranque en forma manual la pérdida de sacarosa en los arrastres de condensados era mayor, por lo que se estimó conveniente considerar la adecuación de separadores. Las aguas de condensado con valores de pH entre 4 - 5 y contenidos de acidez volátil característicos de meladuras, alertaron sobre la necesidad de cuantificar la pérdida de azúcares por presencia de carbono orgánico total (COT).

Entre las variables principales asociadas con algunas pérdidas de sacarosa usualmente no cuantificadas se tiene la precipitación durante los días de cosecha, que cuanto más aumenta en cantidad más favorece el incremento de la materia extraña mineral en la caña moledera.

## Aseguramiento metrológico en el balance de azúcares

El aseguramiento metrológico de los instrumentos de medición analítica, en especial de aquellos de función crítica como el polarímetro, es una de las estrategias implementadas para minimizar las fuentes de incertidumbre en el balance de azúcares en los procesos fabriles. En marzo de 2011 se realizó el sexto intercomparativo anual de patrones de calibración del polarímetro (tres rangos) con participación de la mayoría de los ingenios del sector. En todos los patrones evaluados se reportó un error de calibración menor que el máximo aceptado por fabricación ( $\pm 0.05\%$ ). Estos registros son aceptados en las auditorías de calidad externas e internas en los ingenios como evidencia trazable de la medición de pol en producto terminado.



## Etanol

### Etanol de primera generación

Desde el inicio de las operaciones de las plantas de etanol en Colombia a finales del año 2005, Cenicaña ha colaborado con los ingenios duales en diferentes frentes mediante la prestación de servicios y el desarrollo de proyectos de investigación.

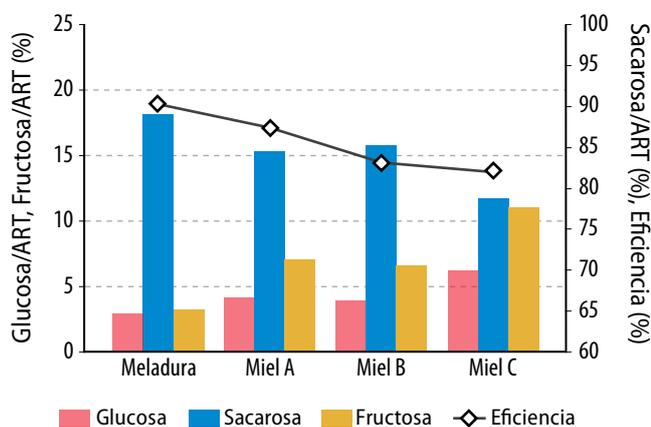
De acuerdo con los objetivos de la agroindustria, los proyectos en producción de etanol de primera generación (a partir de jugos y mieles de la caña de azúcar) se dirigen al aumento de la eficiencia fermentativa, la evaluación de efluentes del tratamiento de vinaza con capacidad de retorno a los procesos y el desarrollo de nuevas cepas de levaduras a partir de cepas nativas con potencial de producción de etanol, adaptadas a las condiciones de estrés particulares de los medios fermentativos de las cinco destilerías.

Entre los resultados destacados en 2011 acerca de la eficiencia fermentativa, se confirmó la necesidad de implementar prácticas de esterilización para asegurar la calidad microbiológica de las materias primas. Así mismo, se validaron las ventajas en la relación costo/beneficio de la urea como fuente de nutrientes para la levadura cuando aquella se suministra hasta completar 250 ppm de amino nitrógeno libre (FAN, por su sigla en inglés) en el medio de fermentación, sin necesidad de dosificación de fósforo. Finalmente, se determinó que la eficiencia fermentativa es mayor cuando se utilizan sustratos con mayor contenido de sacarosa, como la meladura (**Figura 24**).

En el proyecto sobre aislamiento, caracterización y mejoramiento genético de levaduras nativas que toleren la recirculación de vinaza y contribuyan a incrementar la producción de etanol, el cual contó con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) en el período 2008-2011, en ensayos a escala piloto fueron seleccionadas dos cepas de levaduras nativas por presentar los mayores valores de producción de etanol y eficiencia fermentativa.

Sin embargo, debido a que las levaduras nativas disminuyen su producción de etanol entre 9 – 20% cuando se recircula vinaza en porcentajes mayores al 50%, se realizaron modificaciones genéticas a estas cepas con el fin de incrementarles el desempeño metabólico de forma que lleguen a ser competitivas a escala industrial. Se realizaron evaluaciones de tolerancia en concentraciones de etanol superiores a 9% (v/v) y en presencia de los principales componentes inhibidores de la vinaza como ácido láctico, ácido acético y sales, particularmente cloruro de potasio.

Figura 24. Efecto del contenido de azúcares en materias primas sobre la eficiencia fermentativa.



Las cepas nativas fueron objeto de transformación genética mediante la inserción del gen alcohol deshidrogenasa II de *Zymomonas mobilis* (Adh2) y el gen invertasa (Suc2). En el genoma de las cepas recombinantes se verificó la presencia de los genes insertados. Ambas cepas están en evaluación para determinar su desempeño metabólico en el sustrato empleado en las plantas de etanol.

En relación con el aprovechamiento de la vinaza en procesos de compostaje, en 2011 se inició un estudio con el objetivo de formular un inoculante microbiano para optimizar el proceso de producción de abono orgánico y minimizar la emisión de olores. A partir de muestras provenientes de diferentes fases del proceso de compostaje en una planta de compost de un ingenio, hasta finales del año se había seleccionado un total de 13 cepas bacterianas por su capacidad celulolítica, amilolítica y proteolítica (**Figura 25**), las cuales serán la base del consorcio microbiano por evaluar.

Figura 25. Zonas de aclaramiento producto de la capacidad enzimática de los microorganismos aislados.



## Etanol de segunda generación

En el marco de dos proyectos cofinanciados por el MADR, Cenicaña busca alternativas para el aprovechamiento de los azúcares presentes en los residuos agrícolas de la cosecha de caña con fines de producción de etanol carburante.

De acuerdo con las metodologías implementadas para la caracterización del RAC, en la variedad CC 85-92 se estimó que la biomasa lignocelulósica está compuesta por 44% de celulosa, 25% de hemicelulosa, 12% de lignina y 6% de cenizas. Por otra parte, a fin de estandarizar las condiciones para la deslignificación de RAC se utilizó el procedimiento organosolvente (etanol e hidróxido de sodio), pretratamiento que permitió obtener un sustrato con alto contenido de celulosa (mayor de 62%) y bajo contenido de lignina (menor de 6%), el cual resultó apto para liberar la glucosa, principal constituyente de la celulosa, por medio de un proceso de hidrólisis enzimática que incluyó la fermentación en estado sólido y el uso de enzimas comerciales y enzimas provenientes de hongos nativos de los géneros *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp.

Para el aprovechamiento de los azúcares provenientes de los RAC, a partir de un banco de 187 cepas de microorganismos aislados de fuentes de biomasa lignocelulósica fueron seleccionadas 16 cepas de levaduras que presentaron alta capacidad de consumo de azúcares de cinco carbonos, principalmente xilosa. Con la colaboración de investigadores del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, mediante la secuenciación de las regiones ITS 5.8 s y los dominios 1 y 2 de la subunidad 26 s del ADN ribosomal se identificó que las cepas corresponden a las especies *Candida tropicalis* (11), *Meyerozyma guilliermondii* (3), *Lidnera fabianni* (1) y *Wickerhamomyces anomala* (1).

Las cepas nativas y dos cepas de referencia, *Scheffersomyces stipitis* (Y-11545) y *Candida shehatae* (Y-12858), fueron evaluadas en su comportamiento metabólico en un medio de cultivo sintético en condiciones de fermentación optimizadas. Los resultados señalaron que las cepas de referencia tienen la capacidad de conversión de la xilosa a etanol, mientras las cepas nativas –que no producen etanol a partir de xilosa– tienen potencial de producir xilitol, un poliol con características edulcorantes que es utilizado como sustituto de la sacarosa en algunos productos alimenticios. Tanto las cepas nativas como de las de referencia están siendo evaluadas en sustratos ricos en xilosa obtenidos de la hidrólisis ácida de RAC. ●



La estimación del potencial de productividad en el valle del río Cauca muestra que para aumentar el tonelaje de caña por hectárea se requiere el mayor esfuerzo en el piedemonte y en el ambiente húmedo, mientras que para aumentar el rendimiento de azúcar el mayor esfuerzo debe hacerse en los ambientes húmedo y seco-semiseco.



# Servicio de Análisis Económico y Estadístico

**Misión** Proporcionar información y metodologías de análisis económico y estadístico para apoyar la toma de decisiones en investigación y producción, con el fin de contribuir al desarrollo del sector azucarero y mejorar la eficiencia productiva, técnica y económica de los procesos agroindustriales.

- 90 **Estimación del potencial de productividad de la agroindustria**
- 91 **Efecto de la condición climática externa en la productividad**
- 92 **Impacto de factores asociados con incrementos en productividad**
- 93 **Comparación de variedades por zona agroecológica**
- 97 **Utilidades según meses de cosecha y días efectivos de molienda**



## Estimación del potencial de productividad de la agroindustria

Con base en los datos de la producción comercial del sector azucarero en los eventos de cosecha registrados por trece ingenios del valle del río Cauca en el período 1990-2011, Cenicaña actualizó el análisis de la productividad de la agroindustria y ajustó la estimación del potencial de productividad en tres ambientes de cultivo característicos de la región. El potencial hace referencia al porcentaje de incremento real que se podría esperar en el tonelaje de caña por hectárea (TCH) y el rendimiento de azúcar por tonelada molida (Rto %) en cada ambiente.

Para el efecto se utilizó el percentil 75 anual de TCH y rendimiento para el período 1990-2011 como valor potencial de productividad en estas variables. Vale anotar que los valores de productividad del percentil 75 contienen todas las variaciones de los indicadores debidas al clima y el manejo agronómico en el año de cosecha. Los valores del percentil 75 fueron comparados con el promedio de las mismas variables de resultado durante 2002-2011, período tomado como referencia en el análisis. Las diferencias porcentuales estimadas en el comparativo establecen la medida del incremento en productividad que se puede esperar en la agroindustria en el mediano plazo (**Cuadro 7**). Estos criterios de análisis fueron tenidos en cuenta en la planeación estratégica de Cenicaña y el sector al 2030.

El potencial definido en cada ambiente de cultivo señala sendas de mejoramiento de los indicadores de productividad y los procesos asociados con éstos en cada condición. Los ambientes agrupan las zonas agroecológicas identificadas por Cenicaña para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación) a partir de estudios detallados de los suelos e información climatológica normalizada.

Cuadro 7. Potencial de productividad en tres ambientes de cultivo.

Variables	Todos los ambientes	Seco-semiseco	Húmedo	Piedemonte
<b>Toneladas de caña por hectárea (TCH)</b>				
1990-2011: percentil 75 (TCH $\pm \sigma$ )	135 $\pm$ 9	140 $\pm$ 9	127 $\pm$ 11	125 $\pm$ 11
2002-2011: promedio línea base (TCH)	120	126	110	105
Diferencia: promedio potencial de incremento en TCH (%)	13%	11%	15%	19%
<b>Rendimiento de azúcar (%)</b>				
1990-2011: percentil 75 (Rto % $\pm \sigma$ )	12.2 $\pm$ 0.24	12.4 $\pm$ 0.26	12.1 $\pm$ 0.27	12.4 $\pm$ 0.32
2002-2011: promedio línea base (Rto %)	11.6	11.7	11.4	11.9
Diferencia: promedio potencial de incremento en Rto % (%)	5%	6%	6%	6%

$\sigma$  : desviación estándar

De acuerdo con los valores de referencia para el total de la industria y por ambiente, los incrementos de productividad registran cambios positivos, así: para el total de la industria, 13% en TCH y 5% en rendimiento; para el ambiente seco-semiseco, 11% en TCH y 6% en rendimiento; para el ambiente húmedo, 15% en TCH y 6% en rendimiento; y para el ambiente de piedemonte, 19% en TCH y 6% en rendimiento.

Los resultados del análisis muestran que para aumentar la productividad en TCH se requiere el mayor esfuerzo en el piedemonte y en el ambiente húmedo, y que para aumentar el rendimiento, el mayor esfuerzo debe hacerse en los ambientes húmedo y seco-semiseco.

## Cuantificación del efecto de la condición climática externa en la productividad

En el **Cuadro 8** se muestran las variaciones en los indicadores de productividad durante el período 1990-2011 según el efecto del clima dado por condiciones climáticas externas "Niño", "Niña" y condiciones normales. Para el análisis se usaron datos de trece ingenios y se tuvo en cuenta el clima del año anterior al año de cosecha (efecto en TCH) y el clima durante el año de cosecha (efecto en rendimiento).

Las variaciones de los indicadores de productividad muestran el efecto rezagado de "La Niña" sobre el TCH en todos los ambientes, aunque en magnitudes diferentes en cada uno; las mayores diferencias del período se observaron en el ambiente húmedo. En rendimiento, el efecto de "La Niña" es inmediato y fue mayor en los ambientes seco-semiseco y húmedo.

Cuadro 8. Efecto del fenómeno "La Niña" en la productividad (1990-2011).

Condición climática externa	Todos los ambientes	Seco-semiseco	Húmedo	Piedemonte
<b>TCH según clima el año anterior</b>				
"Niño" - Normal	121.2	126.0	111.1	104.0
"Niña"	110.5	115.8	98.0	96.2
Diferencia	-8.8%	-8.1%	-11.8%	-7.5%
<b>Rto (%) según clima el año de cosecha</b>				
"Niño" - Normal	11.8	11.9	11.5	12.1
"Niña"	11.6	11.7	11.3	12.0
Diferencia	-1.7%	-1.7%	-1.7%	-0.8%

## Cuantificación del impacto de algunos factores asociados con el incremento de la productividad

Uno de los retos principales de los responsables de la gestión científica y tecnológica en sectores productivos con potencial de crecimiento económico es cuantificar el impacto de la investigación en los incrementos de la productividad real en el contexto del agente productor.

En un análisis preliminar de aproximación al caso de Cenicaña en el sector azucarero colombiano, con base en los datos reportados por trece ingenios en 37 zonas agroecológicas (período 1998-2011) se utilizó la técnica de los modelos lineales para separar los efectos de factores controlables y factores no controlables asociados con la productividad en referencia a los indicadores de TCH y rendimiento. Los factores considerados fueron: año, ingenio, mes de cosecha, zona agroecológica, edad de cosecha y número de corte, y algunas interacciones entre ellos.

Estos factores fueron usados como criterios para separar en los resultados de productividad los efectos del clima, el suelo, la variedad de caña de azúcar, la cosecha y el manejo de los procesos de cultivo y fábrica. Al estimar la contribución de los factores disponibles en la variación de los indicadores de productividad se depura el objeto de análisis, de forma que las conclusiones esperadas pueden resultar más precisas y la innovación tecnológica más eficaz.

Así, al conjugar la variación explicada de TCH y rendimiento se encontró que los factores controlables contribuyeron con el 50.3% de la variación en el período 1998-2011, mientras los factores no controlables contribuyeron con el 49.7%.

Cuando se consideraron los factores controlables como unidad (100%) y se distribuyó nuevamente la variación explicada de los factores asociados, los resultados indicaron que el manejo del cultivo contribuyó con el 40.2% de la variación; la variedad de caña, con el 26.2%; la cosecha, con el 18.2% y el manejo de fábrica, con el 14.8%.

Un análisis siguiente de la agrupación variedad-manejo del cultivo arrojó que el 66.4% de la variación de los indicadores de productividad se debió al campo; 18.2%, a cosecha y 14.8%, a fábrica. De lo anterior se puede concluir que la innovación tecnológica en campo (variedad y manejo del cultivo) tiene un mayor impacto en la productividad de la caña de azúcar. En este análisis los resultados conservaron la relación de orden de la distribución porcentual de los costos de producción: campo, 45%; cosecha, 30% y fábrica, 25%.

Riego con caudal reducido aplicado por surco alterno.



## Comparación de variedades nuevas y comerciales por zona agroecológica en el sector

Con información comercial de las suertes cosechadas por la industria con 24 variedades de caña de azúcar (nuevas) en el período 2002-2011, se cuantificó la interacción entre cada variedad nueva y las variedades comerciales CC 85-92, CC 84-75 y V 71-51 en diferentes zonas agroecológicas.

Se utilizó la metodología de los modelos lineales generales para expresar la variabilidad del tonelaje de azúcar por hectárea (TAH), como una función de los factores siguientes: cuatro variedades (tres comerciales y una nueva), zonas agroecológicas, interacción zona - variedad, año (como factor de agrupamiento de las condiciones de desarrollo del cultivo), edad de cosecha y número de corte (estas dos últimas como covariables). La inclusión de la edad y número de corte como covariables permitió el ajuste de las variables de respuesta a una edad y un número de corte promedios.

Los resultados corresponden a las comparaciones planeadas del promedio de TAH de cada una de las variedades nuevas con cada una de las variedades comerciales por zona agroecológica (**Cuadro 9**). Se utilizó un valor de significancia de  $p \leq 0.25$  para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ : promedio de TAH de la nueva variedad = promedio de la variedad comercial).



### CC 93-4418

#### ZONAS AGROECOLÓGICAS

Donde la variedad es superior en TAH respecto a CC 85-92

6H2	10H4	13H2	22H1
6H3	11H1	14H5	23H0
7H1	11H2	15H1	23H1
8H2	11H3	22H0	31H2

Cuadro 9. Comparación por zona agroecológica del tonelaje de azúcar por hectárea (TAH) con 24 variedades nuevas y tres variedades comerciales principales ( $p <= 0.25$ ).

Variedad (período de los datos)	versus CC 85-92				versus CC 84-75				versus V 71-51			
	Superior en TAH		Similar		Superior en TAH		Similar		Superior en TAH		Similar	
CC 93-4418 (2003-2011)	6H2 6H3 7H1 8H2 10H4 11H1 11H2 11H3 13H2	14H5 15H1 22H0 22H1 23H0 23H1 31H2	5H4 6H1 7H0 8H3 10H3 10H5 11H0 14H1 14H4 15H0	17H4 18H0 18H1 18H3 23H2 30H0 30H1 31H0 33H0	6H1 6H2 6H3 7H0 7H1 8H2 10H3 10H4 11H0 11H1 11H2	11H3 13H2 14H5 15H1 18H0 22H0 22H1 23H0 23H1 31H2 33H0	5H4 8H3 10H5 14H1 14H4 15H0 17H4 18H1	18H2 18H3 23H2 30H0 30H1	6H1 6H2 6H3 7H1 10H3 10H4 11H0 11H1 11H2 11H3	13H2 14H5 15H1 22H0 22H1 23H0 23H1 30H1 31H2	5H4 7H0 8H2 8H3 10H5 14H1 14H4 15H0 17H4 18H0	18H1 18H3 23H2 30H0 31H0 33H0
CC 92-2804 (2004-2011)	5H4 6H1 6H2 10H4 11H0 11H2 11H3 13H2 15H1 17H4	18H1 18H2 18H3 19H2 26H0 30H0 31H0 32H2	1H1 4H1 5H3 5H5 6H3 7H0 8H3 9H4	11H1 11H4 15H2 18H0 22H1 23H2 27H1	5H4 5H5 6H1 6H2 6H3 9H4 10H4 11H0 11H1 11H2 11H3 13H2	15H1 15H2 17H4 18H0 18H1 18H2 18H3	1H1 4H1 5H3 7H0 8H3 11H4	19H2 22H0 22H1 23H2 27H1	4H1 5H4 5H5 6H1 6H2 9H4 10H4 11H0 11H1 11H2 11H3 13H2	15H1 15H2 18H1 18H2 18H3 19H2 26H0 27H1 30H0 31H0 32H2	1H1 5H3 6H3 7H0 11H4 17H4 18H0	22H0 22H1 23H2 7H0 11H4 17H4 30H0
CC 93-3826 (2004-2011)	1H1 7H1 15H1	23H0	1H2 5H2 5H3 5H4 6H1 6H3 7H0 7H2 9H4 10H3 11H0	11H1 11H4 14H1 14H2 14H4 18H0 18H1 22H0 23H1 30H0	1H1 1H2 5H2 6H1 7H1 7H2	9H4 14H1 14H2 15H1 18H1 23H0	5H3 5H4 5H5 6H3 7H0 8H4 10H3 11H0 11H1 11H2	11H3 11H4 14H4 18H0 22H0 23H1 30H0	1H1 5H3 6H1 7H0 7H1 10H3	14H1 15H1 23H0 23H1	1H2 5H2 5H4 5H5 6H3 7H2 9H4 11H0 11H1 11H3	11H4 18H0 18H1 22H0 24H3 30H0
CC 93-4181 (2008-2011)	6H1 11H1 11H2 17H3	18H1 31H0	1H1 5H3 10H3 11H0 11H3 15H0	18H0 18H2 22H0 30H1 31H2 32H2	6H1 11H1 11H2 18H1	30H1 31H0 32H2	1H1 5H3 10H3 11H0 11H3 15H0	17H3 18H0 18H2 22H0 31H2	6H1 11H1 11H2 11H3 17H3	18H1 30H1 31H0	1H1 5H3 10H3 11H0 15H0 18H0	18H2 22H0 31H2 32H2
CC 93-744 (2004-2011)	11H0 11H2 11H3	15H2 26H1	11H1 14H4 15H1 18H0	18H1 19H2 22H0	11H0 11H2 11H3	15H1 15H2 26H1	11H1 14H4 18H0	18H1 19H2 22H0	11H0 11H2 11H3	15H1 15H2	11H1 14H4 18H0 18H1	19H2 22H0 26H1
CC 92-2198 (2008-2011)	11H0	18H1	1H0 1H1 1H2 5H2 5H5 6H0 6H2 6H3 6H4 7H0 7H1 8H2 8H5 10H4	11H2 11H3 14H1 15H0 15H1 17H3 17H5 18H0 22H0 23H1 30H1 31H0	1H2 11H0 11H2 14H1	18H1	1H0 1H1 3H4 5H2 5H4 5H5 6H0 6H1 6H2 6H3 6H4 7H0 7H1 8H2 8H5	10H4 11H1 11H3 15H0 15H1 16H5 17H3 17H5 18H0 18H0 22H0 23H1 25H5 30H1 31H0	1H0 11H0 14H1	31H0	1H1 1H2 3H4 5H2 5H4 5H5 6H0 6H1 6H2 6H3 6H4 7H0 7H1 8H5 10H4	11H1 11H2 11H3 15H0 16H5 17H3 17H5 18H0 18H1 22H0 23H1 25H5 30H1

Variedad (período de los datos)	versus CC 85-92				versus CC 84-75				versus V 71-51			
	Superior en TAH		Similar		Superior en TAH		Similar		Superior en TAH		Similar	
CC 93-7510 (2002-2011)			1H1 6H0 7H1 8H2 11H1	17H3 21H0 23H0 23H2 26H0	8H2	23H0	1H1 5H4 6H0 7H0 7H1 11H1	11H2 17H3 18H0 21H0 23H2 26H0	23H0	26H0	1H1 2H3 6H0 6H4 7H0 7H1 8H2	11H1 12H3 17H3 21H0 23H2 31H0 31H2
CC 93-4429 (2005-2011)	11H3		5H5 6H2 6H3	10H4 10H5 22H0	5H5 10H5	11H3	6H2 6H3 10H4	22H0	10H5 11H3	22H0	10H4	
CC 93-4223 (2002-2011)			6H2 7H1	23H0	6H2 23H0		7H1 8H3 11H1	14H1 30H2	6H2	23H0	11H1	14H1
CCSP 92-3191 (2003-2011)	6H3		6H4 11H3 11H4	14H4 22H0	6H3 11H4		3H3 5H5 6H4 8H2 8H3	10H5 11H3 14H4 22H0	6H3		6H4 11H3 11H4 14H4	22H0
CCSP 89-43 (2004-2011)	22H0		6H2		22H0		6H2		22H0		6H2	31H0
CC 98-72 (2008-2011)	6H1	11H0	11H3	30H1	6H1	11H0	11H3	30H1	6H1	11H0	11H3	30H1
CC 94-5782 (2002-2011)	11H1		22H0	31H0	11H1		10H5 22H0	31H0	11H1		10H5 22H0	31H0
CC 93-4208 (2003-2011)			7H2		7H2		30H3		7H2		11H3 18H3	30H3
ICC 96-01 (2002-2011)			10H4	10H5	10H5	11H4	10H4 11H3	17H4			2H3 6H4 10H4	10H5 11H3 17H4
CC 92-2358 (2008-2011)			18H1				5H4	18H1			5H4	18H1
CC 92-2188 (2008-2011)			8H2				8H2	7H1			7H1	
CC 92-2154 (2008-2011)			6H2	18H1			6H2	18H1			6H2	18H1
CC 91-1999 (2001-2011)			6H1 11H0 11H1	30H0 14H1 15H1			6H1 11H0 11H1	30H0 14H1	14H1		6H1 11H0 11H1	30H0 15H1
CC 01-1922 (2008-2011)			24H3	33H2			5H5 24H3 33H2	22H3 30H2				
CC 93-3801 (2004-2011)			11H1	11H3	11H3		11H1		11H3		11H1	
CC 93-7711 (2002-2011)			11H3	23H2			11H3	23H2			11H3	23H2
CC 99-2461 (2008-2011)			11H0 11H3 15H0	22H0 30H1			6H1 11H0 11H3 15H0	22H0 30H1 11H1			11H0 11H1 11H3 15H0	22H0 30H1

## CC 92-2804

### ZONAS AGROECOLÓGICAS

Donde la variedad es superior en TAH respecto a CC 85-92

11H0	15H1	18H3	31H0
11H2	17H4	19H2	32H2
11H3	18H1	26H0	
13H2	18H2	30H0	



## CC 93-3826

### ZONAS AGROECOLÓGICAS

Donde la variedad es superior en TAH respecto a CC 85-92

1H1 7H1 15H1 23H1

y respecto a CC 84-75

1H1	7H1	14H2
1H2	7H2	15H1
5H2	9H4	18H1
6H1	14H1	23H0

CC 92-2804



## Caracterización de las utilidades según los meses de cosecha y los días efectivos de molienda

En el propósito de cuantificar el efecto de los días de molienda sobre la utilidad neta de un ingenio azucarero, Cenicaña ha identificado una asociación directa entre los valores de utilidad y los días efectivos de molienda y entre éstos y los meses de cosecha. Así mismo, entre los meses de molienda y el rendimiento comercial de azúcar.

Un análisis de correspondencia múltiple con información del período 2003-2010 de un ingenio con tierras en ambiente húmedo principalmente, mostró que los meses de mayores utilidades (>25 días efectivos de molienda) fueron: marzo, julio, agosto, septiembre y octubre; los de menores utilidades (<22 días efectivos): enero, febrero, abril, mayo y junio; y los de utilidades intermedias (22 - 25 días efectivos): noviembre y diciembre.

Se cuantificó el efecto de los días de molienda sobre la utilidad neta y de acuerdo con los cálculos se determinó que sería posible incrementar las utilidades diarias trece veces en el evento de no moler en los meses de utilidades bajas y en su lugar sumar los días efectivos 'perdidos' en los meses de utilidades altas.

Los resultados mostraron que la eficiencia técnica fue mayor cuando se incrementaron los días efectivos de molienda en los meses favorables. De acuerdo con lo anterior, se establecieron las asociaciones entre las variaciones del clima (favorables o desfavorables) con las utilidades del ingenio en determinados meses de cosecha.

En un análisis de las utilidades operacionales mensuales de otros ingenios en distintos ambientes se identificaron los meses de mayor utilidad (agosto, septiembre y octubre en cinco ingenios y febrero y/o marzo en tres ingenios) y los meses de menor utilidad (enero en siete ingenios, junio en seis ingenios y mayo en cinco ingenios). Además se determinó que el reducir el tiempo efectivo de molienda en los meses de utilidades bajas y sumar ese tiempo en los meses de utilidades altas, los distintos ingenios podrían incrementar entre una y seis veces las utilidades diarias (una vez en dos ingenios, dos veces en cinco ingenios, tres veces en dos ingenios y seis veces en un ingenio).

El valor de las utilidades por cambios en el tiempo efectivo de molienda en determinado mes varía de acuerdo con las condiciones técnicas, económicas y de productividad de cada ingenio. El modelo de análisis es útil en la programación de la cosecha y el mantenimiento en fábrica y ofrece elementos de decisión en la evaluación de escenarios de semizafra. ●

**Como partícipes en la conservación y uso de los recursos naturales de las cuencas hidrográficas,** los cañicultores de la Red GTT atendieron las invitaciones para conocer las ventajas de pertenecer a las asociaciones de usuarios de las cuencas del valle del río Cauca y los beneficios de aportar al Fondo Agua por la Vida y la Sostenibilidad, el primer fondo creado en Colombia para la protección de las cuencas y su biodiversidad.



# Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

**Misión** Promover la innovación tecnológica en el sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia con el fin de incrementar la adopción de prácticas sostenibles en las unidades productivas, mediante la participación de los productores y los investigadores en la gestión de la comunicación, la transferencia de conocimiento y la validación de tecnología.

- 100 Adopción de tecnología**
- 102 Programas de transferencia y capacitación**
- 104 Validación participativa de AEPS con productores de la Red GTT**
- 105 Producción de material divulgativo**
- 105 Guía de Recomendaciones Técnicas con enfoque AEPS**



## Adopción de tecnología

Cenicaña inició en 2011 un nuevo ciclo de actividades para el seguimiento de la adopción de tecnología agrícola en el sector azucarero del valle del río Cauca, en unidades productivas de caña de azúcar de ingenios y proveedores. Para este seguimiento se realizó un muestreo estratificado con asignación proporcional de productores en grupos y subgrupos, de acuerdo con los criterios de tipificación utilizados a partir del censo de productores de 1998 (Isaacs *et al.*, 2000).

Con base en el análisis descriptivo de las entrevistas con proveedores de caña de los ingenios Mayagüez y Providencia se estimó el porcentaje de área de proveeduría con tierras adecuadas y uso de nuevas tecnologías (**Cuadro 10**).

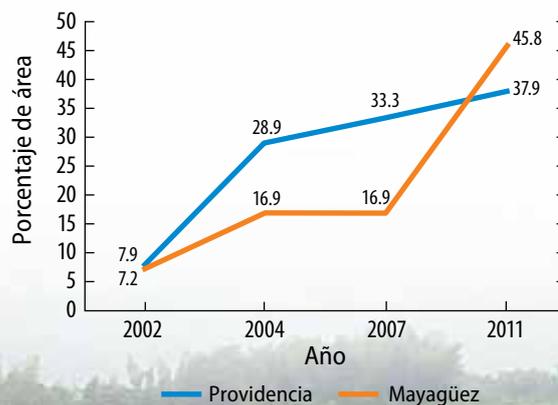
En relación con la adopción del Balance Hídrico v.3.0, en la **Figura 26** se muestra la evolución del cambio técnico entre 2002 y 2011 en los mismos ingenios, dado por el incremento de área donde se utiliza este sistema para definir el momento oportuno de cada evento de riego aplicado al cultivo.

A partir de un análisis de conglomerados se ordenaron las características de los productores y las tecnologías utilizadas en las unidades productivas de los proveedores de caña, tipificados en tres subgrupos: PV-1: proveedores menos innovadores y productividades más bajas; PV-2: proveedores con niveles intermedios de innovación y productividad; y PV-3: proveedores más innovadores y productividades más altas. En el **Cuadro 11** se presenta el caso del Ingenio Providencia.

★ Cuadro 10. Adopción de tecnologías en unidades productivas de proveedores caña. Seguimiento de tecnología, 2011.

Variables	Área de proveeduría (%)	
	Mayagüez	Providencia
Tierras niveladas	84	96
Infraestructura de drenaje	99	77
Con riego	98	100
Uso de Balance Hídrico v.3.0	46	38
Riego por surco alterno	57	33
Aplicación de maduradores	57	85

★ Figura 26. Evolución del cambio técnico en manejo de aguas por el uso del Balance Hídrico v.3.0. Seguimiento de tecnología, 2002-2011.



Cuadro 11. Características de los productores y las unidades productivas. Proveedores de caña del Ingenio Providencia. Seguimiento de tecnología, 2011.

Características	Subgrupos de proveedores de caña		
	PV-1	PV-2	PV-3
Escolaridad del productor	Secundaria	Pregrado	Pregrado y postgrado
Edad (años)	> 56	36 – 55	< 35
Afiliación a asociaciones	No	Sí	Sí
Vinculación a redes sociales virtuales	No	Sí	Sí
Uso del sitio Web de Cenicaña	No	Sí	Sí
Conocimiento de las zonas agroecológicas	No	Muy poco	Sí
Escolaridad del supervisor de campo o mayordomo	Primaria y secundaria*	Primaria	Secundaria
Tamaño de la unidad productiva (hectáreas)	< 50	51 – 150	151 – 200
Renovación de plantaciones en 2011	No	No	Sí
Cambios en diseño de campo (ancho de callejones)	Sí	Sí	Sí
Infraestructura de drenaje	No	Sí	Sí
Labor de subsolación	No	Sí	Sí
Labores de escarificación y aporque	Sí	Sí	Sí
Programación de riegos con Balance Hídrico	No	No	Sí
Aplicación de riego por surco alterno	No	Sí	Sí
Control del riego (medición de indicadores de uso del agua y eficiencia de la labor)	No	Sí	Sí
Fraccionamiento de la dosis de nitrógeno en dos aplicaciones	Sí	No	No
Acuerdo de aplicación de maduradores	No	Sí	Sí

\* Es común que los productores PV-1 realicen o supervisen las labores de cultivo.



## Programas de transferencia y capacitación

### Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT)

Durante 2011 la Red GTT celebró 48 eventos técnicos de inducción y capacitación acerca de las iniciativas de desarrollo sostenible en el sector azucarero colombiano, las tecnologías disponibles y los avances de la gestión tecnológica conjunta de Cenicaña y las empresas e instituciones interesadas en la agroindustria.

La Red GTT está integrada por once ingenios azucareros y aproximadamente 1030 proveedores de caña de azúcar que se reúnen en eventos programados de común acuerdo, y cuentan, en la coordinación técnica y logística, con el apoyo de Cenicaña. En 2011, cuando se celebraron 21 conferencias y 18 días de campo, once cañicultores innovadores fueron anfitriones y expositores, junto con más de sesenta profesionales de los ingenios y Asocaña, investigadores de Cenicaña e invitados especiales.

**Manejo sostenible del recurso hídrico.** En los eventos realizados un objetivo de primer orden fue la transferencia de tecnología de manejo y uso racional de los recursos hídricos en el ecosistema de cultivo de la caña de azúcar. El énfasis de las actividades estuvo orientado al logro de las metas propuestas en la Mesa del Agua, instancia del gremio productor constituida por representantes de los ingenios azucareros, cultivadores de caña, Asocaña, Cenicaña y Tecnicaña.

En complemento de las reuniones grupales, Cenicaña asistió mediante talleres de capacitación en el uso del programa Balance Hídrico v.3.0 a cinco ingenios y siete empresas proveedoras de caña. En las capacitaciones participaron los productores comprometidos con la adopción de la tecnología y sus colaboradores directos.

Como partícipes en la conservación y uso de los recursos naturales de las cuencas hidrográficas de influencia en las unidades productivas, los cañicultores de distintos GTT asistieron a las conferencias organizadas por la Red para dar a conocer las ventajas de pertenecer a las asociaciones de usuarios de las cuencas del valle del río Cauca. En los eventos se presentaron también los beneficios de aportar al Fondo Agua por la Vida y la Sostenibilidad, el primer fondo creado en Colombia para la protección de las cuencas y su biodiversidad.



**Agricultura específica por sitio y sostenibilidad.** La siguiente prioridad en el programa de 2011 fue difundir las mejores prácticas de manejo del cultivo aplicadas con el enfoque de AEPS en fincas de productores y en experimentos de validación de paquetes tecnológicos diferenciados por zona agroecológica. Con este objetivo se llevaron a cabo días de campo en fincas de cañicultores innovadores que han logrado resultados óptimos en la producción de caña y azúcar, con énfasis en los aspectos técnicos y la aplicación de los principios y normas para la producción responsable de caña de azúcar descritos por organismos de gestión de la sostenibilidad como el Pacto Global y el BSI (Better Sugarcane Initiative), respecto de los cuales el sector azucarero colombiano representado en Asocaña ha expresado su compromiso de adhesión.

En relación con los experimentos de validación de AEPS, se realizaron cuatro días de campo en áreas demostrativas dispuestas en las zonas agroecológicas 10H4, 6H1 y 11H1, donde los asistentes tuvieron la oportunidad de comparar los campos manejados con prácticas de AEPS y prácticas de agricultura convencional junto con los indicadores de productividad y rentabilidad en cada caso.

**Memorias disponibles en Web.** De acuerdo con las estadísticas de la Red GTT, en el período 2001-2011 se llevaron a cabo 571 eventos, distribuidos en 348 días de campo, 170 conferencias, 62 talleres de capacitación y cinco giras técnicas. Las memorias se actualizan oportunamente en el sitio web de Cenicaña, al igual que los detalles del programa de actividades.

## Alianzas de capacitación para la competitividad

Cenicaña es un agente proactivo en la planeación y el desarrollo de los programas de capacitación y fortalecimiento de competencias definidos como prioritarios para la formación de capacidades colectivas de innovación en la agroindustria azucarera colombiana. En 2011 colaboró en el diseño de la agenda académica y la realización de cursos en el programa de capacitación del convenio Sena-Asocaña sobre manejo de aguas con énfasis en riego por gravedad y aspersión, en cual contó con el apoyo de Tecnicaña como operador logístico. Así mismo, Cenicaña apoyó a Tecnicaña en las agendas académicas de los programas desarrollados en alcoquímica, agricultura específica por sitio (AEPS) y agricultura de precisión. En total, los tres eventos contaron con la asistencia de 800 personas. Los cupos estuvieron abiertos para profesionales de los ingenios, proveedores de caña de azúcar, supervisores de campo y mayordomos de fincas.

La transferencia de tecnología de manejo y uso racional del recurso hídrico es un objetivo de primer orden en el programa de eventos de la Red GTT.

En 2011, el énfasis de las actividades estuvo orientado al logro de las metas propuestas en la Mesa del Agua.



## Validación participativa de paquetes tecnológicos de AEPS con productores de la Red GTT

Como parte de los objetivos del proyecto AEPS, cuarta fase, cofinanciado por Colciencias en el período 2009-2011, Cenicaña y seis ingenios azucareros adscritos a la Red GTT han establecido campos de validación en las zonas agroecológicas 5H5, 6H1, 11H1, 1H3 y 10H4, áreas demostrativas donde se llevan a cabo ensayos participativos para comparar las ventajas relativas en costos, productividad y rentabilidad de paquetes tecnológicos de AEPS y paquetes de agricultura convencional.

Durante 2011 se completaron las cosechas de primer corte (plantilla) en tres ambientes caracterizados por la influencia de las zonas agroecológicas 6H1 (ingenios Sancarlos y Pichichí) y 10H4 (Ingenio La Cabaña). Los resultados en los campos donde se sembraron las variedades de caña de azúcar de mejor adaptación y donde el cultivo tuvo un manejo de AEPS diferenciado por zona agroecológica mostraron que este enfoque contribuyó a mejorar la rentabilidad de las empresas productoras de caña de azúcar, en comparación con las prácticas de manejo homogéneo de la agricultura convencional.

El análisis combinado de la plantilla en los tres sitios señaló que fue posible reducir los costos de producción hasta en 14% con las prácticas de AEPS respecto al manejo homogéneo convencional, sin diferencias en productividad, lo cual representó un incremento de los ingresos netos por tonelada de azúcar en cada ingenio. Los resultados se presentan en el **Cuadro 12**, junto con las estimaciones de los ingresos por tonelada de caña. Las labores de AEPS que más contribuyeron a reducir los costos fueron: preparación de suelos, siembra, riego y fertilización.

En 2011 se establecieron dos nuevos experimentos: uno en la zona agroecológica 6H1 (suelo Corintias, Ingenio Mayagüez) y el otro en la zona 5H5 (suelo Catorce, Ingenio Risaralda). Las evaluaciones de validación continuarán hasta completar varios cortes en todos los sitios.

Cuadro 12. Análisis combinado de los experimentos de validación. Plantilla, zonas agroecológicas 6H1 y 10H4.

Tratamiento	Toneladas de caña por hectárea (TCH)	Rendimiento (%)	Costos de producción (%) <sup>a</sup>	Ingreso neto para el productor (%) <sup>a</sup>		
				\$/t de azúcar	\$/t de caña <sup>b</sup>	\$/t de caña <sup>c</sup>
Todas las prácticas de AEPS	142	11.6	86	130	125	128
Todas las prácticas convencionales	140	11.4	100	100	100	100

a. Costos e ingresos expresados en porcentaje relativo con respecto al tratamiento de prácticas convencionales.

b. Contrato de proveeduría: 58 kg de azúcar por tonelada de caña.

c. Contrato de cuentas en participación: 50/50.

## Producción de material divulgativo

La edición de publicaciones ha sido una tarea comprometida de Cenicaña desde la fundación del Centro. El principal objetivo ha sido informar a los donantes acerca de los resultados de la investigación y el desarrollo tecnológico. El esfuerzo ha estado dirigido a formar una base de conocimiento práctico en las disciplinas científicas relacionadas con la caña de azúcar y su cultivo y aprovechamiento industrial.

Actualmente, para contribuir con los objetivos de sostenibilidad de la agroindustria resulta necesario fortalecer la capacidad de comunicación y transferencia con los usuarios finales de la tecnología, para lo cual se ha comenzado un programa de formación de capacidades y entrenamiento en competencias de comunicación técnica, que será desarrollado en 2012. Uno de los productos esperados de este programa es la producción de guías metodológicas acerca de la tecnología validadas por Cenicaña, diseñadas con fines de capacitación para la adopción. La primera reunión de inducción y motivación dirigida a los investigadores-autores tuvo lugar en diciembre de 2011.

Con respecto a las publicaciones seriadas, este año fueron editados tres fascículos de la Serie Divulgativa, uno de la Serie Técnica y el Informe Anual 2010. Los documentos se encuentran disponibles en el sitio web institucional, que al finalizar el año tenía 1014 usuarios registrados, 574 de ellos vinculados con fincas productoras de caña y 440 con ingenios e instituciones del sector azucarero.

## Guía de Recomendaciones Técnicas con enfoque AEPS®

Como parte de las actividades de cooperación técnica y transferencia de tecnología coordinadas por Cenicaña en el sector azucarero colombiano el Centro diseña, desarrolla y administra sistemas de información en Web de acuerdo con las necesidades de comunicación técnica identificadas en la interacción permanente con los productores azucareros.

La Guía de Recomendaciones Técnicas con enfoque AEPS® es la herramienta integrada más recientemente al Sistema de Información AEPS en Web. Esta Guía compila el conocimiento técnico validado por Cenicaña en el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca y lo ordena de acuerdo con las distintas prácticas culturales recomendadas para el manejo agronómico en las zonas agroecológicas de influencia en la región.

Esta primera versión publicada en el sitio Web de Cenicaña incluye recomendaciones técnicas sobre diseño de campo, adecuación de tierras, preparación de suelos, variedades de caña, siembra, riego, labores mecánicas, fertilización, cosecha y poscosecha. La versión para dispositivos móviles (teléfonos inteligentes o *smartphones* y tabletas o *tablets*) ofrece por el momento las recomendaciones de diseño de campo, adecuación de tierras y preparación de suelos (Ver página 36). ●



# Servicio de Tecnología Informática

**Misión** Definir y mantener operativa la infraestructura informática de Cenicaña mediante servicios técnicos y soluciones de hardware, software y bases de datos para apoyar los procesos de investigación y transferencia de conocimiento en el sector azucarero.

## Desarrollo de software

Un objetivo relevante en el desarrollo de software en Cenicaña es producir herramientas prácticas y sencillas que satisfagan los requerimientos de los programas de investigación y servicios del Centro. En este sentido, se ha establecido como principio entregar soluciones en línea vía web, lo cual ofrece ventajas sobre los desarrollos tradicionales porque minimiza el tiempo de mantenimiento, no se requiere instalación, las actualizaciones se realizan automáticamente y se obtiene respuesta inmediata y sin limitaciones geográficas. Cenicaña cuenta con procedimientos de seguridad tanto física como lógica que garantizan el buen funcionamiento de los servidores y el control de acceso a ellos.

Las actividades de desarrollo de software en 2011 se resumen a continuación.

**Sistema para gestión de proyectos.** En el tercer trimestre se puso en marcha la segunda versión del Sistema de Información para la Gestión de Proyectos Institucionales. El contexto general del sistema corresponde a las etapas de gestión de ideas, conceptualización de anteproyecto, estructuración de proyecto, socialización interna, gestión de actividades, seguimiento e informes.

**Sistema de información de meteorología.** Este sistema presenta información acerca de las variables del clima registradas en las estaciones de la Red Meteorológica Automatizada (RMA), con un acceso eficiente y rápido a la base de datos respectiva.

**Sistema de información de variedades.** El sistema de información de variedades está diseñado para atender los requerimientos de la investigación en mejoramiento genético de la caña de azúcar. Durante 2011 se lograron avances en el desarrollo de los siguientes módulos: cruzamientos, mejoramiento genético, diseño experimental, libros de campo y toma de datos, análisis de datos, e informes técnicos. ●



# Servicio de Información y Documentación

**Misión** 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 información bibliográfica.

## Cooperación con otras instituciones

La participación en redes de información y bibliotecas es una forma de cooperación de relevancia debido a los altos costos de la información científica y a las necesidades de complementación de recursos y actualización de los profesionales de la información. En Colombia se tienen varias iniciativas que buscan maximizar el uso de los recursos a través de la ampliación del número de usuarios, el acceso a la información, la disminución de los costos de suscripción a bases de datos y la gestión de recursos del sector público que ayuden a financiar las suscripciones.

Cenicaña participa en la Red de Información Documental Agropecuaria de Colombia (RIDAC) y en 2011 ingresó al Comité de Bibliotecas de la Red Universitaria de Alta Velocidad del Valle del Cauca (RUAV).

La RIDAC cuenta con un proyecto de biblioteca digital que reúne colecciones de los miembros de la red. Además, en el último año se unió a un consorcio con otras nueve instituciones y el apoyo económico del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para la adquisición de la base de datos CAB Abstracts, especializada en temas agrícolas, la cual estará disponible en 2012 para los usuarios del sector azucarero; mediante el consorcio se disminuyen los costos de suscripción en 38%.

Por su parte, con la vinculación de Cenicaña al comité de bibliotecas de la RUAV los usuarios del sector azucarero podrán acceder a préstamos de documentos sin necesidad de carta de préstamo interbibliotecario en las bibliotecas institucionales de las universidades del Valle, ICESI, Javeriana, Nacional (sede Palmira), Santiago de Cali, Autónoma de Occidente, Libre, San Buenaventura, Institución Universitaria Antonio José Camacho, y Unicatólica, el SENA (ASTIN), la Escuela Militar de Aviación, el Centro Médico Imbanaco y la Fundación Valle de Lili.



## Biblioteca digital

Desde abril de 2010 Cenicaña adelanta el proyecto de biblioteca digital con el fin de recopilar, procesar y poner a disposición de los usuarios un repositorio institucional, para lo cual se usa del software DSpace.

Hasta el momento se han digitalizado 1200 documentos que hacen parte de la memoria institucional, incluidos informes de investigación, publicaciones anteriores a 1991 y algunas tesis y consultorías; también 350 planos relacionados con la infraestructura de la Estación Experimental de Cenicaña.

Así, al finalizar 2011 la biblioteca digital de Cenicaña contaba con 1516 títulos en dos comunidades, 13 subcomunidades y 46 colecciones. En el proceso han participado 26 investigadores de Cenicaña y el personal del Servicio de Información y Documentación. La biblioteca digital facilita el acceso a la información y sirve de instrumento para la conservación del conocimiento explícito generado en la institución.

## Estadísticas de servicios

Cenicaña ofrece acceso a 37,092 registros través del catálogo de biblioteca y las bases de datos propias del servicio de información y documentación. El 87% de los documentos están relacionados con caña de azúcar, industria azucarera y etanol; el resto corresponde a temas de apoyo, como aguas, suelos, biotecnología, química y agronomía en general.

De acuerdo con las estadísticas del servicio de información y documentación (**Cuadro 13**) en 2011 aumentó en 5% el número de usuarios atendidos en la sala de lectura de la biblioteca Guillermo Ramos Núñez, y en 19% el número de consultas y envío de documentos electrónicos respecto a 2010. En total se prestaron 3251 materiales, el 47% para consulta en sala y el 53% a domicilio: El 32% de los préstamos correspondieron a revistas; el 46%, a libros y documentos, y el 22%, a equipos audiovisuales. ●

Cuadro 13. Estadísticas de servicios de información y documentación, 2011.

<b>Adquisiciones</b>	
Colección caña	119
Colección general	110
Revistas	545
Otras colecciones	30
Total en 2011	804
<b>Registro y análisis</b>	
Colección caña	
Base de datos caña	584
Total general	32,039
Colección general	
Base de datos libros	128
Total general	4719
Hemeroteca	
Publicaciones periódicas	2
Total general	707
Análisis	
Revistas registradas	545
Análíticas de revistas	395
Fichas elaboradas	105
<b>Servicios a los usuarios</b>	
Usuarios atendidos en sala	3267
Consultas atendidas por e-mail	643
Préstamos	
En sala de lectura	1526
A domicilio	1725
Total en 2011	3251
Distribuidos en	
Revistas	1026
Documentos	1496
Equipos	729
<b>Divulgación de información</b>	
Páginas de contenido internas	21
Solicitud de fotocopias	8
Páginas fotocopiadas	390
Documentos electrónicos	624
Publicaciones donadas	343
Distribución publicaciones seriadas	
Carta Trimestral	1
Serie Técnica	1
Informe Anual	1

# Superintendencia de la Estación Experimental

**Misión** Prestar el apoyo logístico para el normal desarrollo de los experimentos de investigación de Cenicaña, mediante la provisión de espacios adecuados, trabajadores de campo competentes, equipos funcionales y sistemas de información confiables. ●

## Servicios especializados

### Laboratorio de Fitopatología

Durante 2011 se evaluaron 2842 muestras de semilleros y cultivos comerciales remitidas por los ingenios azucareros y los cultivadores de caña para el diagnóstico de tres enfermedades: raquitismo de la soca (RSD), escaldadura de la hoja (LSD) y virus de la hoja amarilla (SCYLV). El diagnóstico de RSD y LSD se realizó mediante la técnica inmunoenzimática de TBIA (*Tissue-Blot Enzyme Immunoassay*), utilizando antisueros específicos para cada patógeno. Se determinó un promedio de incidencia de 0.36% para RSD y de 0.42% para LSD. Por su parte, en el diagnóstico de SCYLV se empleó la técnica molecular de RT-PCR convencional (Transcripción Reversa seguida de Reacción en Cadena de la Polimerasa) a partir de la extracción del ARN total de la planta de caña infectada. Así, de 941 muestras evaluadas para SCYLV, 40 resultaron con presencia del virus.

### Laboratorio de Química

En 2011 se duplicó el número de muestras de suelo y tejido foliar analizadas, en comparación con el año precedente. Se efectuaron 25,549 análisis de muestras remitidas por personal de Cenicaña, ingenios azucareros y proveedores de caña, distribuidas de la siguiente manera: 15,170 muestras de caña para análisis de sacarosa, brix y azúcares reductores;

4171 muestras de suelo para análisis químico y físico; 4875 muestras de tejido foliar para análisis químico; 1145 muestras de caña para cromatografía HPLC; 110 muestras para análisis de poder calorífico y 78 muestras de distintos materiales para análisis especiales de polisacáridos, fenoles, dextranas, almidones, amino-nitrogenados y fosfatos. Se destaca el uso de la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para los análisis de caña, suelos y tejido foliar.

## Multiplicación y propagación de variedades

En 2011 en las instalaciones de la Estación Experimental de Cenicaña en San Antonio de los Caballeros se produjeron 1.2 millones de plantas de distintas variedades para el establecimiento de semilleros libres de patógenos, según las solicitudes de los usuarios. Aproximadamente el 65% de las plantas fueron entregadas el mismo año, así: 685,987 unidades para ingenios azucareros y proveedores de caña; 49,325 para proyectos de Cenicaña; y 51,000 para otras entidades.

Las variedades más solicitadas fueron: CC 01-1940 y CC 93-4418 (88,450 y 51,000 plantas entregadas), CC 01-1228 y CC 01-678 (46,900 y 41,400 plantas), CC 92-2804 (30,700), CC 00-3079 y CC 93-4181 (27,000 y 24,300 plantas).

Se establecieron varios experimentos para evaluar el efecto de productos bioestimulantes en el desarrollo de las plantas durante su permanencia en terrazas. Únicamente se observaron ventajas con la aplicación de urea por mayor crecimiento radicular y aéreo, lo cual se vio reflejado en el aumento del porcentaje de supervivencia. ●

En 2011 fueron atendidos en la Estación Experimental de Cenicaña 1142 visitantes nacionales y extranjeros interesados en las actividades del Centro.

La multiplicación de plantas a partir de yemas extraídas fue uno de los temas más solicitados.





# Anexo

<b>I. Clima anual en el valle del río Cauca. Comparativo multianual. Red Meteorológica Automatizada, 1994-2011</b>	<b>114</b>
<b>II. Documentos registrados en la base de datos bibliográfica en 2011</b>	<b>116</b>
<b>III. Red GTT: Grupos de Transferencia de Tecnología</b>	<b>119</b>
<b>IV. Acuerdos y convenios interinstitucionales</b>	<b>122</b>
<b>V. Contratos y regalías</b>	<b>123</b>
<b>VI. Capital humano</b>	<b>123</b>
<b>VII. Personal profesional</b>	<b>124</b>

## I. Clima anual en el valle del río Cauca. Comparativo multianual

Temperatura mínima absoluta (°C)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor temperatura mínima absoluta</b>			
1998	14.5	14.8	14.5
2008	14.4	14.2	14.2
2010	15.0	14.1	14.1
<b>Años intermedios</b>			
2005	15.5	14.0	14.0
1994	15.2	13.8	13.8
2000	15.6	13.8	13.8
1996	15.3	13.7	13.7
1995	13.6	14.9	13.6
2006	15.0	13.6	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
2009	15.1	13.1	13.1
2004	12.8	13.7	12.8
<b>Años de menor temperatura mínima absoluta</b>			
2001	13.6	12.7	12.7
2003	14.6	12.6	12.6
<b>2011</b>	<b>14.2</b>	<b>12.3</b>	<b>12.3</b>
Clima	12.8	12.3	12.3

Temperatura mínima media (°C)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor temperatura mínima media</b>			
1998	19.9	18.9	19.4
2005	19.5	18.8	19.1
2010	19.4	18.6	19.0
<b>Años intermedios</b>			
2006	19.2	18.8	19.0
2009	18.9	18.9	18.9
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
2000	18.8	18.5	18.7
<b>Años de menor temperatura mínima media</b>			
1999	18.8	18.4	18.6
1996	18.7	18.4	18.6
<b>2011</b>	<b>18.7</b>	<b>18.3</b>	<b>18.5</b>
Clima	19.0	18.6	18.8

Temperatura media del aire (°C)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor temperatura media (años más cálidos)</b>			
1998	24.3	23.0	23.6
1997	23.1	23.8	23.5
2009	23.1	23.9	23.5
<b>Años intermedios</b>			
2002	23.3	23.5	23.4
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
2010	23.9	22.4	23.1
2007	23.4	22.8	23.1
1994	22.8	23.1	23.0
1995	23.3	22.7	23.0
<b>2011</b>	<b>22.8</b>	<b>22.7</b>	<b>22.8</b>
2008	22.7	22.7	22.7
<b>Años de menor temperatura media (años más fríos)</b>			
1996	22.6	22.7	22.6
2000	22.5	22.8	22.6
1999	22.6	22.5	22.5
Clima	23.2	23.0	23.1

Temperatura máxima absoluta (°C)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor temperatura máxima absoluta</b>			
1997	34.8	39.2	39.2
2009	37.8	38.9	38.9
2008	35.2	38.5	38.5
<b>Años intermedios</b>			
1998	37.6	38.3	38.3
2007	36.8	37.9	37.9
2010	37.0	37.8	37.8
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
2000	32.9	36.0	36.0
<b>Años de menor temperatura máxima absoluta</b>			
<b>2011</b>	<b>35.0</b>	<b>35.8</b>	<b>35.8</b>
1994	33.0	34.4	34.4
1999	33.4	33.6	33.6
Clima	37.8	39.2	39.2

Temperatura máxima media (°C)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor temperatura máxima media</b>			
2009	29.7	31.1	30.4
1998	30.8	29.3	30.1
1997	30.8	30.8	30.0
<b>Años intermedios</b>			
2002	29.8	30.2	30.0
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
2010	30.5	28.7	29.6
1994	29.2	29.7	29.4
1995	29.9	29.0	29.4
<b>2011</b>	<b>29.4</b>	<b>29.4</b>	<b>29.4</b>
2008	29.3	29.2	29.3
<b>Años de menor temperatura máxima media</b>			
1996	28.8	29.2	29.0
2000	28.6	29.2	28.9
1999	28.7	28.7	28.7
Clima	29.7	29.6	29.6

Oscilación de temperatura (°C)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor oscilación media diaria de temperatura</b>			
2009	10.8	12.2	11.5
2002	10.9	11.4	11.2
1997	10.2	12.1	11.1
<b>Años intermedios</b>			
2004	11.1	11.1	11.1
2007	11.1	10.9	11.0
2003	11.0	11.0	11.0
2001	10.8	11.1	11.0
<b>2011</b>	<b>10.6</b>	<b>11.0</b>	<b>10.8</b>
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
2010	11.1	10.1	10.6
<b>Años de menor oscilación media diaria de temperatura</b>			
1996	10.1	10.8	10.5
2000	9.9	10.7	10.3
1999	9.9	10.2	10.1
Clima	10.6	11.0	10.8

## Red Meteorológica Automatizada, 1994-2011

Humedad relativa del aire (%)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Año de mayor humedad relativa (años más húmedos)</b>			
2000	88	86	87
1999	87	86	86
2001	86	84	85
<b>Años intermedios</b>			
998	83	84	84
1996	85	82	84
2002	85	80	82
1995	81	83	82
1997	84	78	81
2008	81	81	81
2010	79	83	81
2003	80	81	81
<b>2011</b>	<b>81</b>	<b>80</b>	<b>80</b>
2004	80	80	80
1994	82	78	80
2007	79	80	79
<b>Años de menor humedad relativa (años más secos)</b>			
2005	81	78	79
2006	80	76	78
2009	81	76	78
Clima	82	80	81

Precipitación (mm)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor precipitación (años más lluviosos)</b>			
2008	960	704	1664
2010	635	1009	1644
<b>2011</b>	<b>805</b>	<b>831</b>	<b>1636</b>
<b>Años intermedios</b>			
1999	820	633	1453
1996	906	530	1436
2007	697	731	1428
2000	841	538	1380
1994	808	561	1369
2006	744	531	1276
1998	655	576	1231
1997	774	421	1196
2003	550	604	1153
2002	602	535	1137
2009	693	422	1115
1995	521	582	1103
<b>Años de menor precipitación (años menos lluviosos)</b>			
2005	543	544	1086
2004	461	559	1020
2001	527	458	985
Clima	697	599	1296

Días con precipitación (No.)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor número de días con precipitación</b>			
2008	112	113	225
1999	111	99	210
<b>2011</b>	<b>103</b>	<b>100</b>	<b>204</b>
<b>Años intermedios</b>			
2000	113	90	203
2010	79	122	201
1996	113	85	197
2007	95	100	196
2005	86	95	181
1995	80	100	181
2006	101	79	180
1994	102	76	178
1998	82	95	178
2009	95	72	167
2003	79	82	160
2001	86	74	159
<b>Años de menor número de días con precipitación</b>			
2004	71	86	157
1997	92	58	150
2002	65	70	135
Clima	93	89	181

Evaporación (mm)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor evaporación</b>			
1994	821	907	1729
2009	785	940	1725
1995	862	847	1710
<b>Años intermedios</b>			
1997	788	899	1687
2002	819	853	1673
2007	835	834	1669
2003	816	833	1648
2001	797	848	1645
2004	836	802	1638
1998	830	803	1632
2006	761	848	1608
1996	774	834	1608
2008	811	778	1589
<b>2011</b>	<b>763</b>	<b>795</b>	<b>1558</b>
2010	829	720	1549
<b>Años de menor evaporación</b>			
2005	693	842	1535
1999	728	760	1488
2000	715	754	1469
Clima	793	828	1620

Radiación solar [cal/(cm <sup>2</sup> x día)]			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor radiación solar media diaria</b>			
1994	425	433	429
1995	430	417	423
1997	417	429	423
<b>Años intermedios</b>			
2002	413	429	421
2001	421	419	420
2007	424	413	419
2003	426	410	418
1996	410	421	416
2009	397	435	416
2006	407	422	415
1998	416	403	410
2004	413	403	408
2005	392	424	408
2008	412	394	403
1999	404	402	403
<b>Años de menor radiación solar media diaria</b>			
<b>2011</b>	<b>393</b>	<b>395</b>	<b>394</b>
2000	389	397	393
2010	407	371	389
Clima	411	412	411

## II. Documentos registrados en la base de datos bibliográfica en 2011

Servicio de información y documentación de la caña de azúcar de Colombia  
[www.cenicana.org/investigacion/seica/index.php](http://www.cenicana.org/investigacion/seica/index.php)

Las referencias que se presentan a continuación corresponden a la producción bibliográfica del personal de Cenicana registrada en el catálogo de la Biblioteca Guillermo Ramos Núñez durante 2011. Los documentos pueden ser consultados en el sitio web institucional por los usuarios registrados, o en la sala de lectura de la Biblioteca ubicada en la Estación Experimental de Cenicana, donde se atiende al público en general de lunes a viernes entre 8 a.m. y 4 p.m.

### Agronomía

Aguilar Ramírez, A.; Montoya Guerrero, A.; Pustowka, A.; Hernández, J. y Corredor, F. 2011. **Proyecto "Diseño y desarrollo del sistema de medición continua de caudal en canales abiertos. Etapa II"**. Cali: Cenicana, 29 p. (Documento de Trabajo, No.722).

Alarcón Muriel, S.L. 2011. **Precipitación efectiva en el cultivo de la caña para precisar la programación de riegos mediante el balance hídrico en el valle del río Cauca**. Tesis Ingeniera Agrícola. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR); Cenicana, Cali, Colombia. 62 p.

Cruz Valderrama, J.R.; Rodríguez Hurtado, L.A.; Muñoz Arboleda, F. 2010. **Recomendaciones generales de manejo agronómico de la caña de azúcar en suelos con exceso de humedad**. Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic): 20-23.

Medina Silva, S. 2011. **Evaluación de la compactación causada por los equipos de cosecha y transporte de caña**. Informe final del contrato pasantía. Cali: Universidad del Valle en convenio con la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 31 p.

Montoya Perlaza, M.F. 2011. **Actividades relacionadas con la investigación en el área de Fertilidad y Nutrición del Programa de Agronomía de Cenicana**. Informe final. Contrato Estudiante en Práctica. Cali: Cenicana, 52 p.

### Agricultura Específica por Sitio

Carbonell González, J.A.; Quintero Durán, R.; Torres Aguas, J.S.; Osorio Murillo, C.A.; Isaacs Echeverri, C.H. y Victoria Kafure, J.I. 2011. **Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones**. Cali: Cenicana, 119 p. (Serie Técnica, No.38).

Cock, J.H.; Oberthür, T.; Isaacs Echeverri, C.H.; Roman Läderach, P.; Palma Zamora, A.E.; Carbonell González, J.A.; Victoria Kafure, J.I.; Watts, G.; Amaya Estévez, A.; Collet, L.; Lema, G. y Anderson Acuña, E. 2011. **Crop management based on field observations: Case studies in sugarcane and coffee. Agricultural Systems**. 104, 9 (nov.): 755-769.

Erazo Mesa, O.E. 2011. **Efecto de los factores limitantes de la productividad del cultivo de caña de azúcar a nivel intra-suerte**. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias Coordinación General de Posgrados. 133 p.

Isaacs Echeverri, C.H.; Carbonell González, J.A.; Zamorano Álvarez, D.; Castillo Beltrán, S.V.; Silva Cerón, H.F.; Londoño Arango, S.; González Buriticá, L.E.; Moreno Gil, C.A.; Posada Contreras, C. y Erazo Mesa, O.E. 2011. **Agricultura específica por sitio. Cuarta fase. Informe final**. Contrato Colciencias-Cenicana. Código 2214-452-21079 Convenio 471-2008. Cali: Cenicana. 326 p.

Pedraza S., J.J. 2011. **Determinación de las propiedades químicas presentes en muestras de suelos provenientes del proyecto agricultura específica por sitio (AEPS)**. Informe final del contrato pasantía. Cali: Universidad Santiago de Cali; Cenicana. 72 p.

Vivas Jaramillo, A. 2011. **Evaluación de las propiedades físicas y químicas de suelos orientadas a la agricultura de precisión en zonas cultivadas con caña de azúcar del valle geográfico del río Cauca**. Informe final del contrato pasantía. Popayán: Universidad del Cauca; Cenicana, 145 p.

### Biotecnología

Acosta Vega, C. 2011. **Caracterización del GEN BRU1 asociado con resistencia a roya café (*Puccinia melanocephala*) en el banco de germoplasma**. Cali: Cenicana, 102 p. (Documento de trabajo, no.721).

Astudillo Ortiz, J.K. 2011. **Mapa genético de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) y mapeo de QTL asociados con la producción de sacarosa y biomasa**. Tesis Bióloga. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Biológicas; Cenicana. 63 p.

López Gerena, J. 2011. **Marcadores moleculares para la identificación de QTL asociados a la producción de sacarosa en variedades colombianas de *Saccharum spp.*** Informe final. Contrato Colciencias-Cenicana. Código 221-07-18439, Contrato 261-2006. Cali: Cenicana. 88 p.

Rodríguez Henao, E. 2011. **Distancias genéticas a partir de marcadores moleculares y su relación con los porcentajes de selección en caña de azúcar**. Informe final del contrato de pasantía. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias; Cenicana, 9 p.

## Climatología y meteorología

- Cortés Betancourt, E. 2010. **Comportamiento del clima en el valle del río Cauca durante 2010**. Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic): 8-16.
- Cortés Betancourt, E. 2010. **Incidencia de "El Niño" y "La Niña" en el clima del valle del río Cauca**. Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic): 6-7.
- Cortés Betancourt, E.; Barrios Pérez, C. 2010. **Nuevo calendario de temporadas secas y lluviosas en el valle del río Cauca**. Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic): 4-5.
- Cortés Betancourt, E.; Barrios Pérez, C. 2010. **Búsqueda de señales de cambio climático en el valle del río Cauca**. Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic): 3.

## Cosecha y transporte

- Gómez Perlaza, A.L.; Cobo Barrera, D.F.; Castro Fori, P.W. e Isaacs Echeverri, C.H. 2011. **Impromevents to a sugarcane road transportation system**. Zuckerindustrie. 136, 7 (July): 471-475.

## Geomática

- Murillo Sandoval, P.J.; Carbonell González, J.A.; Palma Zamora, A.E.; Osorio Murillo, C.A.; Muñoz Arboleda, F. 2011. **Monitoreo del cultivo de la caña de azúcar por medio de la percepción remota. Informe técnico final**. Contrato Colciencias-Cenicaña Código 2214-405-20288. Cali: Cenicaña, 129 p.
- Murillo Sandoval, P.J.; Carbonell González, J.A. y Osorio-Murillo, C.A. 2011. **Evaluation of Landsat 7 ETM+ Data for Spectral Discrimination and Classification of Sugarcane Varieties in Colombia**. Journal of Agricultural Science and Technology. 1, 1B: 101-107.

## Informes de gestión

- Amaya Estévez, A. 2011. **Informe de gestión del Director General al diciembre 31 de 2010**. Cali: Cenicaña, 14 p.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. 2011. **Informe Anual 2010**. Cali: Cenicaña, 160 p.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. 2011. **Programa 2012, proyectos, hechos destacados y proyecciones**. Cali: Cenicaña, 250 p.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Programa de Agronomía. 2010. **Plan de investigación agronómica 2006-2010. Síntesis de progreso**. Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic): 17-19.

## Procesos fabriles

- Arévalo Rodríguez, A.L. 2011. **Evaluación de la actividad celulolítica de microorganismos aislados a partir de fuentes de biomasa lignocelulósica**. Tesis Ingeniería Biotecnológica. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander; Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente; Cenicaña. 150 p.

- Bautista Carrillo, J.A. 2011. **Evaluación de la actividad enzimática de hongos nativos por fermentación en medio sólido utilizando residuos de cosecha en caña de azúcar delignificados**. Tesis Ingeniero Biotecnológico. Cúcuta; Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente. Plan de Estudios de Ingeniería Biotecnológica; Cenicaña. 89 p.

- García Jiménez, E. 2011. **Evaluación de la producción de etanol bajo la modalidad de propagación con xilosa y fermentación con glucosa por parte de levaduras nativas**. Tesis Microbióloga Industrial. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Microbiología Industrial; Cenicaña, 46 p.

- Gómez Rodríguez, J. 2011. **Seguimiento a las estaciones de preparación y molienda de diferentes ingenios de la región**. Informe final. Contrato Estudiante en Práctica. Cali: Cenicaña. 10 p.

- Laguado Sanguino, J.A. 2011. **Generación de una respuesta adaptativa para la tolerancia de altas concentraciones de azúcares por parte de las levaduras nativas con capacidad alcoholera. Informe final**. Joven Investigador Convenio Cenicaña-Colciencias. Cali: Cenicaña, 2011. 79 p.

## Sanidad Vegetal

- Ángel Sánchez, J.C.; Cadavid Ordóñez, M. y Victoria Kafure, J.I. 2010. **Incidencia de roya café (*Puccinia melanocephala*) en variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca, 2007-2010**. Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic): 37-38.
- Ángel Sánchez, J.C.; Cadavid Ordóñez, M.; Victoria Kafure, J.I. 2010. **Presencia de la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) en el valle del río Cauca, Colombia**. Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic): 24-29.
- Bustillo Pardey, A.E. Obando Bedoya, J.A. Matabanchoy Solarte, J.A. y Castro Valderrama, U. 2011. **Control biológico del salivazo. *Aeneolamia varia* (F) (Hemiptera: Cercopidae). Uso del hongo *Metarhizium anisopliae* (Metsch). Sorokin**. Cali: Cenicaña, 11 p. (Serie Divulgativa, no.12)
- Bustillo Pardey, A.E. 2011. **Plagas de la caña de azúcar en Colombia: descripción, monitoreo y control**. Cali: Cenicaña, 147 p. (Documento de Trabajo, no.720).
- Bustillo Pardey, A.E. 2011. **Parasitoides, predadores y entomopatógenos que afectan las plagas de la caña de azúcar en Colombia**. Cali: Cenicaña. 11 p. (Documento de Trabajo, no. 719).
- Bustillo Pardey, A.E. y Castro Valderrama, U. 2011. **El Salivazo de la Caña de Azúcar, *Aeneolamia varia* (F). (Hemiptera: Cercopidae). Hábitos, biología y manejo de poblaciones**. Cali: Cenicaña. 15 p. (Serie Divulgativa, No.11).
- Bustillo Pardey, A.E.; Castro Valderrama, U.; Gómez Laverde, L.A. y Urresti, A.T. 2011. **Efecto del clima en las poblaciones del salivazo de la caña de azúcar (Hemiptera: Cercopidae) en el Valle del Cauca**. p. 213-220. En: Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología Socolen, 38: Memorias. Manizales. Colombia. 27-29 de julio. p. 213-220.

- Cadavid Ordóñez, M. y Ángel Sánchez, J.C. 2010. **Métodos de diferenciación en campo y laboratorio de los agentes causales de la roya café (*Puccinia melanocephala*) y la roya naranja (*Puccinia kuehni*) en caña de azúcar.** Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic.): 30-32.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali. 2011. **El salivazo de la caña de azúcar. *Aeneolamia varia* (F). (Hemiptera: Cercopidae).** Cali: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Cenicaña. 7 p. (Plegable).
- Matabanchoy Solarte, J.A. 2011. **Eficacia de *Metarhizium anisopliae* (Metsch). Sorokin en el control del salivazo *Aeneolamia varia* (F). (Hemiptera: Cercopidae) en caña de azúcar.** Tesis Ingeniero Agrónomo. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira; Cenicaña. 59 p.
- Moreno Salguero, C.A. 2011. **Evaluación de nemátodos entomopatógenos para el control de *Aeneolamia varia* (F) (Hemiptera: Cercopidae) en caña de azúcar.** Tesis Ingeniero Agrónomo. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias; CENICAÑA. 12 p.
- Obando Bedoya, J.A. 2011. **Selección de cepas de *Metarhizium anisopliae* (Metsch). Sorokin para el control de *Aeneolamia varia* (F). (Hemiptera: Cercopidae).** Tesis Máster en Ciencias Agrícolas, Protección de cultivos. Palmira: Universidad Nacional de Colombia; Facultad de Ciencias Agropecuarias; Escuela de Postgrados; Cenicaña. 117 p.
- Ortiz Londoño, V. 2011. **Aislamiento de la bacteria *Lefsonia xyli* subsp. *xyli*, agente causal del raquitismo de la soca en caña de azúcar.** Informe del contrato pasantía. Cali: Universidad del Valle, Escuela de Bacteriología; Cenicaña. 31 p.
- Rosero Guerrero, M. 2011. **Evaluación de la virulencia de nemátodos entomopatógenos para el control del salivazo de la caña de azúcar, *Aeneolamia varia* (F) (Hemiptera: Cercopidae).** Tesis Magíster en Ciencias Agrarias, énfasis protección de cultivos. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Posgrados; Cenicaña, 2011. 80 p.
- Sánchez Siuffi, A.M. 2011. **Aislamiento de la bacteria *Xanthomonas albilineans*, agente causal de la escaldadura de la hoja en caña de azúcar.** Informe del contrato de pasantía. Cali: Universidad del Valle, Escuela de Bacteriología y Laboratorio Clínico; Cenicaña. 2011. 24 p.
- Sarria Zúñiga, D.V. 2011. **Aislamiento de *Lefsonia xyli* subsp. *xyli*, agente causal de la enfermedad raquitismo de la soca en caña de azúcar.** Informe del contrato pasantía Julio-Diciembre 2010. Cali: Universidad del Valle; Cenicaña, 28 p.

## Subproductos y derivados

- Larrahondo Aguilar, J.E. y Castillo Monroy, E.F. 2010. **Descripción de productos basados en la biomasa como valor agregado en la cadena agroindustrial de la caña de azúcar.** Carta Trimestral. 32, 3-4 (jul.-dic.): 39-47

## Transferencia de tecnología

- Arango Ramírez, J.G. 2011. **Primer informe, jóvenes profesionales en formación.** Cali: Cenicaña, 48 p.
- Bolívar Nieto, J.G. 2011. **Programa de formación de jóvenes profesionales. Informe.** Cali: Cenicaña. 34 p.
- Murillo Cabrera, D.F. 2011. **Primer informe programa jóvenes profesionales en formación.** Cali: Cenicaña, 40 p.
- Popayán Escobar, J.L. 2011. **Informe técnico trimestral del programa de jóvenes profesionales en formación.** Cali: Cenicaña, 38 p.

## Trabajos de estudiantes SENA

- Delgado Méndez, L.M. 2011. **Informe etapa productiva.** Tuluá: SENA; Cenicaña. 10 p.
- González, F.A. 2011. **Preparación de suelos en el cultivo de la caña de azúcar.** Tuluá: SENA; Cenicaña. 22 p. (Informe Tecnólogo en Producción Agrícola).
- Lara B., H.D. 2011. **Informe sobre los avances de conocimiento de la práctica agrícola en Cenicaña.** Cali: SENA- Florida; Cenicaña, 7 p. (Informe Tecnólogo en Producción Agrícola).
- Lucano Muñoz, E.L.; Botina Erazo, G.; Llantén Potosí, I.; Lasso Lasso, J.J.; Arias Restrepo, J.A. Lara Barrera, M.; Lucano, R.D.; Campo Cunda, J. 2011. **Evaluación de dos tipos de manejo en plántulas para la producción de semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el lote 23 de Cenicaña, corregimiento de San Antonio de los Caballeros, Florida, Valle del Cauca.** Buga: SENA, Centro Agropecuario de Buga, Tecnología en Producción Agrícola, Cenicaña, 46 p. (Informe final Tecnólogo en Producción Agrícola).
- Mesías Restrepo, E.F. 2011. **Resumen de las actividades y prácticas realizadas en el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).** Tuluá: SENA, Centro Latinoamericano de Especies Menores; Cenicaña. 7 p. (Informe Tecnólogo en Producción Agrícola).
- Parra Beltrán, A.F.; Díaz Ortiz, D.H.; Tipas Santacruz, F.N.; Gutiérrez Doncel, F.A.; Jurado Ortega, S.A. y Ortega Caicedo, Y.G. 2011. **Evaluación de las densidades de siembra para establecimiento de semilleros de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con trozos de una yema, variedad CC 85-92, en el municipio de Florida, Valle, corregimiento de San Antonio de los Caballeros.** Buga: SENA, Centro Agropecuario de Buga, Tecnología en Producción Agrícola; Cenicaña. 41 p. (Informe Tecnólogo en Producción Agrícola).

## Varietades de caña de azúcar

- Viveros Valens, C.A. 2011. **Identificación de características asociadas con la mayor eficacia en el uso de agua para la producción de caña de azúcar.** Tesis PhD en Ciencias Agropecuarias. Línea de Investigación en Mejoramiento Genético Vegetal. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 120 p.

### III. Red GTT: Grupos de Transferencia de Tecnología

Servicio de transferencia de tecnología: programas y memorias de la Red GTT

[www.cenicana.org/investigacion/sctt/red\\_gtt.php](http://www.cenicana.org/investigacion/sctt/red_gtt.php)

Resumen de actividades, 2011

#### Cuencas hidrográficas

**CUENCA DEL RÍO BOLO.** Conferencia: julio 14. Asistencia: 20 cañicultores. Expositores: P. Moreno (Asocaña), A. Morales, A. González (Asobolo), S. Castillo (Cenicaña)

**CUENCA DEL RÍO AMAIME.** Conferencia: septiembre 15. Asistencia: 25 cañicultores. Expositores: P. Moreno (Asocaña), M. Vallejo, A. González (Asoamaime), S. Castillo (Cenicaña)

**CUENCAS DE LOS RÍOS TULUÁ-MORALES Y RIOFRÍO-PIEDRAS.** Conferencia: diciembre 15. Asistentes: 10 cañicultores. Expositores: P. Moreno (Asocaña), J. Carvajal (Asociación ríos Tuluá y Morales), R. Cruz (Cenicaña)

#### Ingenios azucareros

##### CARMELITITA

##### **Manejo en condiciones de alta humedad.**

Conferencia: marzo 2. Asistencia: 20 cañicultores.  
Expositores: L. Hurtado (Ingenio), R. Cruz (Cenicaña)

##### **Uso eficiente del recurso hídrico.**

Día de campo: septiembre 1. Asistencia: 15 cañicultores.  
Exp: F. Cáceres (Ingenio), S. Castillo (Cenicaña)

##### INCAUCA

##### **Optimización de la producción en fincas de proveedores, hacienda Potrerillo.**

Día de campo: abril 14 y 15. Asistencia: 55 cañicultores.  
Exp: F. Cabrera (cañicultor), L. Cuervo (Ingenio), S. Castillo (Cenicaña)

##### **Diseño, construcción y mantenimiento de diques y sistemas de bombeo.**

Conferencia: julio 29 y agosto 1. Asistencia: 80 cañicultores.  
Exp: R. Ramírez (cañicultor), A. Orozco (Ingenio), R. Cruz (Cenicaña), S. Castillo (Cenicaña)

##### **Sistemas eficientes de riego, caso haciendas Japio y Campiña.**

Día de campo: octubre 20 y 21. Asistencia: 165 cañicultores.  
Exp: J. Jaramillo, J. Zapata (cañicultor), J. Nova (Ingenio), U. Castro, A. Bustillo (Cenicaña)

##### **Uso de microorganismo y manejo integrado de plagas.**

Día de campo: diciembre 13. Asistencia: 100 cañicultores.  
Exp: Y. Gutiérrez, L. Valderrama (Ingenio)

##### LA CABAÑA

##### **Validación de tecnología, zona agroecológica 10H4.**

Día de campo: abril 13. Asistencia: 95 cañicultores.  
Exp: F. Chaves (Ingenio), C. Isaacs, S. Castillo (Cenicaña)

##### **Optimización de la producción en fincas de proveedores, hacienda Aldemar Escobar.**

Día de campo: noviembre 9. Asistencia: 70 cañicultores.  
Exp: A. Escobar (cañicultor), G. Medina (Ingenio), U. Castro, A. Bustillo (Cenicaña)

##### SANCARLOS

##### **Efecto del clima en la producción de caña de azúcar.**

Conferencia: marzo 17. Asistencia: 12 cañicultores.  
Exp: I. Bruzón (Ingenio), A. Palma, E. Cortés (Cenicaña)

##### **Manejo de caña en condiciones de alta humedad.**

Conferencia: abril 28. Asistencia: 10 cañicultores.  
Exp: C. Rincón (Ingenio), R. Cruz, C. Viveros, M. Estrada (Cenicaña)

##### **Optimización de la producción en fincas de proveedores, hacienda María Cristina.**

Día de campo: julio 28. Asistencia: 8 cañicultores.  
Exp: C. Garcés (cañicultor), J. Carbonell (Cenicaña)

##### **Validación de tecnología, zona agroecológica 6H1.**

Día de campo: noviembre 17. Asistencia: 10 cañicultores.  
Exp: A. Vega, M. Estrada (Cenicaña)

---

**PROVIDENCIA**


---

**Sistemas eficientes de riego, hacienda El Trejo.**

Día de campo: marzo 8. Asistencia: 85 cañicultores.  
Exp: J. Barona (cañicultor), J. Rojas, Y. Gutiérrez (Ingenio),  
C. Isaacs (Cenicaña)

**Optimización de la producción en fincas de proveedores, hacienda San Camilo.**

Conferencia: julio 28. Asistencia: 80 cañicultores.  
Exp: S. Rivera (cañicultor), D. Álvarez (Ingenio),  
F. Muñoz (Cenicaña)

**Actualizaciones e innovaciones.**

Conferencia: diciembre 6. Asistencia: 90 cañicultores.  
Exp: O. Delgado (Ingenio), R. Cruz, M. Estrada, U. Castro,  
J. Ángel (Cenicaña)

---

**MANUELITA**


---

**Validación de tecnología, zona agroecológica 11H1.**

Día de campo: mayo 10. Asistencia: 45 cañicultores.  
Exp: M. Prada (Ingenio), C. Isaacs, S. Castillo (Cenicaña)

**Acciones de mejoramiento en la cosecha.**

Conferencia: diciembre 2. Asistencia: 70 cañicultores.  
Exp: D. Galvis, C. Osorio, L. Amú, C. Escobar (Ingenio),  
U. Castro, A. Bustillo (Cenicaña)

**Validación de tecnología, zona agroecológica 6H1.**

Día de campo: noviembre 17. Asistencia: 10 cañicultores.  
Exp: A. Vega, M. Estrada (Cenicaña)

---

**MAYAGÜEZ**


---

**Seguimiento y adopción de variedades promisorias.**

Conferencia: marzo 9. Asistencia: 37 cañicultores.  
Exp: J. Bohórquez (Ingenio), J. Victoria, M. Estrada (Cenicaña)

**Uso eficiente del recurso hídrico.**

Conferencia: julio 13. Asistencia: 40 cañicultores.  
Exp: J. Pantoja, Y. Arias (Ingenio), S. Castillo (Cenicaña)

**Cosecha mecanizada.**

Día de campo: octubre 6. Asistencia: 30 cañicultores.  
Exp: A. Morales (Ingenio), R. Cruz (Cenicaña).

**Avances en el uso de compost y Mayavin.**

Día de campo: diciembre 1. Asistencia: 40 cañicultores.  
Exp: J. Bohórquez (Ingenio), F. Muñoz (Cenicaña).

---

**PICHICHÍ**


---

**Validación de tecnología, zona agroecológica 6H1.**

Conferencia: abril 12. Asistencia: 40 cañicultores.  
Exp: A. Gómez, A. Vinasco (Ingenio),  
C. Isaacs, S. Castillo (Cenicaña)

**Optimización de la producción en fincas de proveedores, hacienda Génova.**

Día de campo: agosto 13. Asistencia: 50 cañicultores.  
Exp: J. Cabal (cañicultor), L. Álvarez (Ingenio),  
R. Cruz, M. Estrada (Cenicaña)

**Acciones de mejoramiento en fábrica.**

Día de campo: diciembre 13. Asistencia: 40 cañicultores.  
Exp: H. Gómez (Ingenio), J. Carbonell (Cenicaña)

---

**RISARALDA**


---

**Prácticas innovadoras y futuro del cultivo de la caña de azúcar.**

Conferencia: abril 12. Asistencia: 36 cañicultores.  
Exp: A. Villegas (Ingenio), J. Carbonell, F. Muñoz (Cenicaña)

**Cambio climático.**

Conferencia: septiembre 15. Asistencia: 25 cañicultores.  
Exp: E. Cortés (Cenicaña)

**Manejo de aguas e iniciativas de la Mesa del Agua.**

Conferencia: noviembre 17. Asistencia: 23 cañicultores.  
Exp: R. Cruz (Cenicaña)

---

**RIOPAILA CASTILLA - PLANTA CASTILLA**


---

**Fertilización foliar y elementos menores.**

Conferencia: abril 13. Asistencia: 50 cañicultores.  
Expositores: J. Botero (cañicultor), L. Escarria, J. Mosquera,  
M. Andrade (Ingenio), F. Muñoz (Cenicaña)

**Optimización de la producción en fincas de proveedores, hacienda La Lorena.**

Conferencia: julio 19. Asistencia: 40 cañicultores.  
Exp: C. Azcárate (cañicultor), A. Ojeda, A. Valdés (Ingenio), R.  
Cruz (Cenicaña)

**Seguimiento y adopción de variedades promisorias.**

Día de campo: octubre 19. Asistencia: 9 cañicultores.  
Exp: C. Azcárate (cañicultor), R. Palomino (Ingenio),  
F. Salazar, U. Castro (Cenicaña)

**Resultados en el uso de la aplicación de Vinaza y compost.**

Día de campo: noviembre 23. Asistencia: 50 cañicultores.  
Exp: A. Sánchez (Ingenio), F. Muñoz (Cenicaña)

---

---

## RIOPAILA CASTILLA - PLANTA RIOPAILA

---

### Fertilización foliar y elementos menores.

Conferencia: marzo 10. Asistencia: 51 cañicultores.  
Exp: C. Mosquera (Ingenio), F. Muñoz (Cenicaña)

---

### Diseño y estructura de estaciones de bombeo, ventajas y desventajas.

Conferencia: mayo 26. Asistencia: 46 cañicultores.  
Exp: S. Ballesteros (Ingenio), R. Cruz (Cenicaña).

---

### Salivazo de la caña de azúcar.

Conferencia: junio 14. Asistencia: 49 cañicultores.  
Exp: A. Bustillo, U. Castro (Cenicaña)

---

### Resultados con el uso de vinaza y compost aplicados al suelo.

Día de campo: septiembre 15. Asistencia: 45 cañicultores.  
Exp: A. Sánchez (Ingenio), F. Muñoz (Cenicaña)

---

### Seguimiento y adopción de variedades promisorias.

Día de campo: diciembre 6. Asistencia: 40 cañicultores.  
Exp: R. Palomino (Ingenio), F. Salazar (Cenicaña)

---



## IV. Acuerdos y convenios interinstitucionales

Vigentes durante 2011

**Universidad de Antioquia**, Colombia, 20 de octubre de 2011: Convenio de prácticas profesionales No. MIA 002-2011.

**Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC)**, Colombia, 12 de octubre de 2011: Convenio de asociación para la medición de calidad del aire.

**Universidad de Wisconsin**, Estados Unidos de América, febrero-mayo de 2011: Pasantía (fitopatología, roya café).

**Universidad Pontificia Bolivariana**, Seccional Palmira, Colombia, 10 de agosto de 2010: Convenio marco de cooperación interinstitucional.

**Sugar Research Center of Chinese Academy of Agricultural Sciences and Guangxi Academy of Agricultural Sciences (GXAAS)**, China, 11 de marzo de 2010: Convenio de cooperación para intercambio de germoplasma, desarrollo varietal, programas de entrenamiento e información general en caña de azúcar.

**Universidad Autónoma de Occidente**, Colombia, 7 de abril de 2008: Convenio para la realización de pasantías empresariales.

**Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)**, Centro Agropecuario de Buga, Colombia, 2008: Acuerdo para el establecimiento de facilidades para el desarrollo del proyecto "Aislamiento y evaluación de hongos entomopatógenos para el control biológico de *Aeneolamia varia*".

**Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)**, Colombia, octubre de 2007: Convenio marco de cooperación técnica y científica.

**Organización Pajonales S.A.**, Colombia, 6 de agosto de 2007: Convenio de investigación y siembra de variedades.

**Universidad de Pamplona**, Colombia, 25 de julio de 2007: Convenio interinstitucional para que los estudiantes de la Universidad puedan desarrollar su práctica en Cenicaña.

**Universidad ICESI**, Colombia, octubre de 2006: Convenio interinstitucional de cooperación técnica, académica e investigativa.

**Universidad del Valle, Colombia**, 17 de junio de 2005: Convenio interinstitucional suscrito además por el Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas (Cideim), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ciat y Cenicaña, para fortalecer los desarrollos académicos e investigativos de las entidades participantes y propiciar el intercambio de investigadores.

**Universidad Industrial de Santander (UIS)**, Colombia, 4 de octubre de 2004: Convenio interinstitucional con el objeto de aunar esfuerzos técnicos para el fortalecimiento de la capacidad investigativa, de desarrollo tecnológico y la realización de servicios técnicos especializados.

**Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC)**, Argentina, 30 de junio de 2004: Convenio interinstitucional para desarrollar actividades de investigación conjuntas y facilitar el intercambio tecnológico en el área de caña de azúcar.

**Universidad Católica de Manizales**, Colombia, 13 de mayo de 2004: Convenio interinstitucional para que los estudiantes de la Universidad puedan desarrollar su práctica en Cenicaña.

**Universidad de Caldas**, Colombia, 17 de marzo de 2004: Convenio interinstitucional para que los estudiantes de la Universidad puedan desarrollar su práctica en Cenicaña.

**Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA)**, México, octubre de 2003: Convenio específico de cooperación técnica y financiera para el desarrollo de cruzamientos de variedades de caña de azúcar.

**Universidad del Valle**, Colombia, 2 de febrero de 2001: Convenio marco de cooperación entre la Universidad del Valle, Cenicaña y Asocaña, con el fin de brindar cooperación en los campos de la docencia y la investigación.

**Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)**, Colombia, 4 de noviembre de 1999: Convenio de cooperación el fin de continuar recibiendo apoyo del ICA para introducción, cuarentena y exportación de variedades de caña de azúcar. Cenicaña prestará los servicios de diagnóstico de enfermedades y plagas en muestras remitidas por el Instituto, provenientes de zonas paneleras del país.

**Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat)**, Colombia, junio de 1994: Acuerdo de uso de lotes del Ciat para siembra de ensayos y experimentos de Cenicaña.

## V. Contratos y regalías

Vigentes durante 2011

**Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela)**, Colombia, 22 de diciembre de 2010: Contrato de suministro de material vegetal para propagación de variedades en la zona de Cundinamarca.

**Agro Industrial Paramonga**, Perú, septiembre de 2010. Contratos de licencia y pago de regalías No. 01 09 09 y de pruebas de cultivo No. 005 2010.

**Instituto para la Investigación y la Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca (Inciva)**, Cali, Colombia, junio de 2010: Contrato de arrendamiento de lote en el corregimiento de Santa Helena, municipio de El Cerrito, Valle, para uso de Cenicaña como Estación Cuarentenaria Abierta, donde se siembran y evalúan las variedades importadas que salen de la Estación de Cuarentena Cerrada.

**Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (Cengicaña)**, Guatemala, septiembre de 2009: Contrato de intercambio de material vegetal.

**Ingenio San Antonio**, Nicaragua, septiembre de 2009: Contrato de pruebas de cultivo.

**Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)**, Colombia, 15 de julio de 2009. Contrato de licencia para sembrar variedades de caña como pruebas de cultivo.

**Bioenergy S.A.**, Colombia, 12 de marzo de 2009: Contrato de licencia y pago de regalías por variedades vegetales.

**Ingenio Presidente Benito Juárez**, México, enero de 2009: Contrato de licencia para sembrar variedades de caña de azúcar como prueba de cultivo de variedades.

**Agrifuels de Colombia S.A.**, Colombia, 19 de diciembre de 2008: Contrato de licencia y pago de regalías por variedades vegetales.

**Agrícola del Chirá S.A.**, Perú, 20 de noviembre de 2008: Contrato de licencia por variedades vegetales.

**Compañía Azucarera Valdez S.A.**, Ecuador, 12 de marzo de 2008: Contrato de licencia y pago de regalías por variedades vegetales.

**Compañía Azucarera La Estrella, S.A.**, Panamá, 10 de mayo de 2007: Contrato de licencia y pago de regalías por uso de variedades vegetales.

**Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A.**, Ecuador, septiembre de 2006: Contrato de licencia y pago de regalías por uso de variedades.

**Agroindustrial Laredo S.A.A.**, Perú, septiembre de 2006: Contrato de licencia y pago de regalías por uso de las variedades vegetales.

## VI. Capital humano

Para el desarrollo de los proyectos de investigación en 2011, Cenicaña contó con 68 profesionales, 38 auxiliares, 61 trabajadores de campo y cinco aprendices del SENA. En el grupo de profesionales hubo 39 personas con pregrado, (11 de ellos jóvenes vinculados como investigadores temporales en proyectos cofinanciados), 16 personas con maestría y 13 con doctorado.

En el programa de Jóvenes Profesionales en Formación estuvieron cinco personas, y cuatro de ellas terminaron su período en la institución. En desarrollo de trabajo de grado y pasantía se contó con 12 estudiantes de distintas disciplinas.

A partir del 16 de junio de 2011 Nicolás Javier Gil Zapata, Ingeniero Químico, Ph.D., asumió el cargo de Director del Programa de Procesos de Fábrica. Así mismo, desde el 1 de noviembre Anna Camila Nader Nieto, Ingeniera Agrónoma, Ph.D., se vinculó como Fitomejoradora del Programa de Variedades.

Terminaron sus estudios de doctorado Germán Andrés Vargas Orozco y Carlos Arturo Viveros Valens, el primero en entomología en la Universidad Estatal de Kansas, y el segundo en ciencias agropecuarias en la línea de investigación en mejoramiento genético vegetal en la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

## VII. Personal profesional

Al 31 de diciembre de 2011

### Dirección General

Álvaro Amaya Estévez. Director General. Ing. Agrónomo, Ph.D.  
Nohra Pérez Castillo. Secretaria Junta Directiva. Economista.

### Dirección Administrativa

Nohra Pérez Castillo. Directora Administrativa. Economista.  
Ligia Genith Medranda Rosasco. Contadora. Contadora Pública.  
Víctor Hugo Mejía Falla. Jefe Administrativo. Ing. Industrial.<sup>2</sup>

### Programa de Variedades

Jorge Ignacio Victoria Kafure. Director. Ing. Agrónomo, Ph.D.<sup>1</sup>  
Fredy Antonio Salazar Villareal. Fitomejorador. Ing. Agrónomo, Ph.D.  
Anna Camila Nader Nieto. Fitomejorador. Ing. Agrónoma, Ph.D.<sup>2</sup>  
Carlos Arturo Viveros Valens. Fitomejorador. Ing. Agrónomo, Ph.D.  
Fernando Silva Aguilar. Fitomejorador. Ing. Agrónomo, M.Sc.<sup>2</sup>  
Marcela Estrada Iza. Fitomejorador. Ing. Agrónoma, M.Sc.<sup>2</sup>  
Alex Enrique Bustillo Pardey. Entomólogo. Ing. Agrónomo, Ph.D.<sup>2</sup>  
Germán Andrés Vargas Orozco. Entomólogo. Ing. Agrónomo, Ph.D.<sup>3</sup>  
Ulises Castro Valderrama. Entomólogo. Ing. Agrónomo, M.Sc.<sup>2</sup>  
Gershon Darío Ramírez Sánchez. Entomólogo. Ing. Agrónomo.<sup>2,4</sup>  
Yarley Ximena Granobles Parra. Entomología. Ing. Agrónoma.<sup>2</sup>  
Juan Carlos Ángel Sánchez. Fitopatólogo. Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Marcela Cadavid Ordóñez. Microbióloga Agrícola. Bióloga, M.Sc.<sup>2</sup>  
Paola Andrea Montaña Carvajal. Ing. Agrónoma, Ing. Agrónoma.<sup>2</sup>  
Jershon López Gerena. Biotecnólogo. Biólogo, Ph.D.<sup>2</sup>  
John Jaime Riascos Arcos. Biotecnólogo. Biólogo, Ph.D.<sup>2</sup>  
Hugo Arley Jaimes Quiñónez. Biotecnólogo. Biólogo.<sup>2</sup>  
Paulo César Izquierdo Romero. Biotecnología. Biólogo.<sup>2</sup>  
Claudia Marcela Franco Arango. Biotecnología. Bióloga.<sup>2</sup>  
Yuri Carolina Acosta Vega. Biotecnología. Bióloga.<sup>2</sup>

### Programa de Agronomía

Javier Alí Carbonell González. Director. Ingeniero Agrícola, M.Sc.  
Fernando Villegas Trujillo. Ing. Agrícola, M.Sc.  
Luis Arnoby Rodríguez Hurtado. Asesor mecanización agrícola.  
Ing. Mecánico, Ph.D.<sup>1</sup>  
John Jairo Valencia Montenegro. Mecaniz. agrícola. Ing. Agrícola.<sup>2</sup>  
José Ricardo Cruz Valderrama. Ing. Suelos y Aguas. Ing. Agrícola, M.Sc.  
Armando Campos Rivera. Asesor manejo aguas. Ing. Agrícola, M.Sc.<sup>1</sup>  
Doris Micaela Cruz Bermúdez. Manejo de aguas. Ing. Agrícola.<sup>2</sup>  
Osvaldo Edwin Erazo. Suelos y Aguas. Ing. Agrícola, M.Sc.<sup>2</sup>  
Fernando Muñoz Arboleda. Edafólogo. Ing. Agrónomo, Ph.D.  
Enrique Cortés Betancourt. Meteorólogo. Ing. Meteorólogo, M.Sc.  
Fabio Andrés Herrera Roza. Analista SIG. Ing. Topográfico.<sup>2</sup>  
Paulo Murillo Sandoval. Analista Percepción Remota. Ing. Topográfico.<sup>2</sup>

### Programa de Procesos de Fábrica

Nicolás Javier Gil Zapata. Director. Ing. Químico, Ph.D.  
Adolfo Gómez Perlaza. Asesor procesos mecánicos. Ing. Mecánico,  
M.Sc.<sup>1</sup>  
Giovanni Rojas Jiménez. Químico Jefe. Químico, Ph.D.<sup>2</sup>  
Sara del Carmen Pereddo Vidal. Química. Química.<sup>2</sup>  
Jorge Iván Socarras Díaz. Ing. Procesos Físico-Químicos. Ing.  
Químico.<sup>2</sup>  
Jairo Moreno Lemos. Ing. Procesos Físico-Químicos. Ing. Químico.<sup>2</sup>  
Juan G. Rodríguez Sarasty. Ing. Procesos Físico-Químicos. Ing.  
Químico.<sup>2</sup>  
Diego F. Cobo Barrera. Ing. Procesos Físico-Mecánicos. Ing. Mecánico.<sup>2</sup>  
Pedro Castro Fori. Ing. Procesos Físico-Mecánicos. Ing. Mecánico.<sup>2</sup>  
Juan C. Guerrero Ordóñez. Ing. Procesos Físico-Mecánicos. Ing.  
Mecánico.<sup>2</sup>  
Alexánder Montoya Guerrero. Ing. Electrónico. Ing. Electrónico.<sup>2</sup>  
Zunny T. Daza Merchán. Microbióloga. Microbióloga Industrial, M.Sc.<sup>1</sup>  
Jorge Alberto Vásquez Castillo. Microbiólogo. Bacteriólogo, M.Sc.<sup>1</sup>

### Servicio de Análisis Económico y Estadístico

Claudia Posada Contreras. Economista. Economista.  
Alberto Efraín Palma Zamora. Biometrista. Matemático, M.Sc.  
Carlos Arturo Moreno Gil. Biometrista. Estadístico, M.Sc.

### Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Camilo Humberto Isaacs Echeverri. Jefe. Ing. Agrónomo.  
Victoria Carrillo Camacho. Esp. Comunicación Técnica. Com. Social.  
Hernán F. Silva Cerón. Admin. Web. Comunicador Social-Periodista.<sup>2</sup>  
Sandra Viviana Castillo Beltrán. Red GTT. Ing. Agrónoma.<sup>2</sup>  
Juan Esteban Martínez Duque, Red GTT. Ing. Agrónomo.<sup>2</sup>  
Adriana Vega Osorio, Red GTT. Ing. Agrónoma.<sup>2</sup>  
Sebastian Londoño Arango. AEPS. Ing. Agrónomo.<sup>2</sup>  
Luz Ángela Mosquera Daza. Estadística. Estadística.<sup>2</sup>  
Alejandro Estrada Bedón. Ing. Logística CATE. Ing. Agroindustrial.<sup>2</sup>  
Juan Carlos Rosero Cerón, CATE, Ing. Mecánico.<sup>2</sup>

### Servicio de Información y Documentación

Adriana Arenas Calderón. Jefe. Bibliotecóloga.<sup>2</sup>  
Diana Marcela Posada Zapata. Biblioteca digital. Bibliotecóloga.<sup>2</sup>

### Servicio de Tecnología Informática

Einar Anderson Acuña. Jefe. Ing. Industrial.  
Jaime Hernán Caicedo Ángel. Desarrollo software. Ing. de Sistemas.<sup>2</sup>

### Superintendencia de la Estación Experimental

Luis Eduardo González Buriticá. Superintendente (E). Ing. Agrícola.<sup>2</sup>

(1) Contrato de prestación de servicios. (2) Contrato a término fijo. (3) Comisión de estudios de posgrado. (4) Proyecto cofinanciado.

# Referencias bibliográficas

---

Isaacs Echeverri, C.H.; Carbonell González, J.A.; Zamorano Álvarez, D.; Castillo Beltrán, S.V.; Silva Cerón, H.F.; Londoño Arango, S.; González Buriticá, L.E.; Moreno Gil, C.A.; Posada Contreras, C. y Erazo Mesa, O.E. 2011. Agricultura específica por sitio. Cuarta fase. Informe final. Contrato Colciencias-Cenicaña. Código 2214-452-21079 Convenio 471-2008. Cali: Cenicaña. 326 p.

Isaacs Echeverri, C.H.; Carrillo Camacho, V.E.; Caicedo Muñoz, G.H.; Paz Torres, H.G.; Palma Zamora, A.E. 2000. Los clientes de la nueva tecnología. Censo y tipificación de productores de caña de azúcar de la industria azucarera colombiana, 1998. Cali: Cenicaña. 64 p. (Serie técnica, no.27).



# Acrónimos, siglas y abreviaturas

AEPS: Agricultura Específica por Sitio  
Asocaña: Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia  
Cengicaña: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar  
Cenicaña: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia  
Cenipalma: Centro de Investigación de Palma de Aceite  
Ciat: Centro Internacional de Agricultura Tropical  
Cideim: Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas  
CNIAA: Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (México)  
Corpoica: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria  
CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas  
CVC: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca  
EEAOC: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes  
Fedepanela: Federación Nacional de Productores de Panela  
GTT: Grupo de Transferencia de Tecnología  
GXAAS: Agricultural Sciences and Guangxi Academy of Agricultural Sciences  
ICA: Instituto Colombiano Agropecuario  
ICP: Instituto Colombiano del Petróleo  
INCIVA: Instituto para la Investigación y Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca,  
MADR: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural  
NREL: Laboratorio Nacional de Energía Renovable  
RIDAC: Red de Información Documental Agropecuaria de Colombia  
RMA: Red Meteorológica Automatizada  
RUAV: Comité de Bibliotecas de la Red Universitaria de Alta Velocidad del Valle del Cauca  
SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje  
Sivar: Sistema de Información de Variedades  
Tecnicaña: Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar  
UIS: Universidad Industrial de Santander

## Publicación Cenicaña

### Comité editorial

Adriana Arenas Calderón  
Álvaro Amaya Estévez  
Camilo H. Isaacs Echeverri  
Javier Alí Carbonell González  
Jorge Ignacio Victoria Kafure  
Nicolás Javier Gil Zapata  
Nohra Pérez Castillo  
Victoria Eugenia Carrillo Camacho

### Producción editorial

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

### Coordinación editorial y edición de textos

Victoria Eugenia Carrillo Camacho

### Diagramación, ilustraciones y carátula

Alcira Arias Villegas

### Fotografías

Adriana Vega Osorio: página 26-arriba, 28-derecha, 39-izquierda, 44-derecha, 48-49, 60-abajo-centro, 62, 93-arriba, 98-arriba, 99-izquierda, 121-arriba y abajo-izquierda.

Andrés Garrido Guzmán: 61.

Alcira Arias Villegas: 112.

Alejandro Estrada Bedón: 38- abajo-centro, 39-centro y derecha.

Alex Enrique Bustillo Pardey: 56-centro.

Alexander Montoya Guerrero: 8, 9, 24-25, 38-arriba, 38-abajo-derecha, 74, 75, 76, 77, 78, 81, 82, 84, 88-arriba y abajo-izquierda.

Armando Campos Rivera: 11-abajo, 52, 60-arriba y abajo-izquierda, 63, 92.

Camilo H. Isaacs Echeverri: 26-abajo-centro, 32.

Carlos Arturo Viveros Valens: 44-arriba y abajo-izquierda, 50, 51.

Carolina Ramírez Carabali: 18.

Diego Zamorano Álvarez: 99-derecha.

Fernando Muñoz Arboleda: 27-derecha, 66.

Germán Estrada Estrada: 3, 12.

Gustavo Adolfo Segura Ayala: 113.

Hernán Felipe Silva Cerón: 4, 19, 22-23, 27-izquierda, 45-derecha, 53, 93-abajo.

John Jaime Riascos Arcos: 54.

Jorge Ignacio Victoria Kafure: 43, 96.

Juan Carlos Ángel Sánchez: 46.

Juan Carlos Rosero Cerón: 40, 42.

Juan Esteba Martínez Duque: 11-arriba, 26-abajo-izquierda y derecha, 60-abajo-derecha.

Marcela Estrada Iza: 6, 45-izquierda.

Marcela Cadavid Ordoñez: iii, iv-v, 36-37, 90-91, 106, 108-109, 111.

Pedro Wirley Castro Fori: 89-izquierda.

Sandra Viviana Castillo Beltrán: 98-abajo-izquierda y centro, 102, 103, 121-abajo-derecha.

Ulises Castro Valderrama: 56-arriba.

Victoria Carrillo Camacho: vi-vii, viii-1, 5, 10, 38-abajo-izquierda, 86 y 87-abajo, 88-abajo, 89-derecha 98-abajo-centro.

Yarley Ximena Granobles Parra: 56-abajo.

### Preprensa e impresión

Se terminó de imprimir el 25 de abril de 2012 en los talleres gráficos de Feriva S.A. Cali, Colombia.

