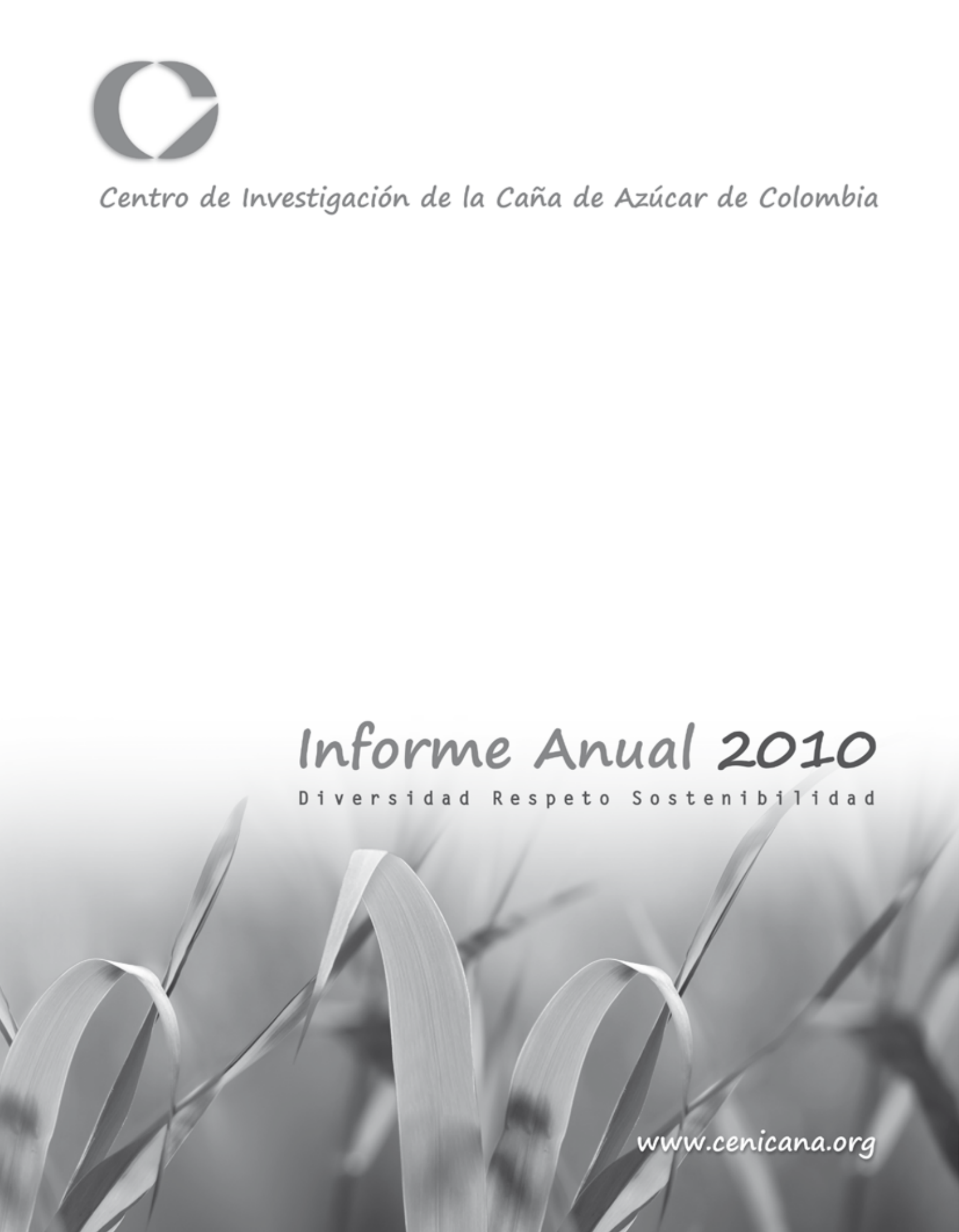
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

Informe Anual 2010

Diversidad Respeto Sostenibilidad



www.cenicana.org

Carátula

Diversidad, respeto y sostenibilidad, tres principios que orientan la gestión tecnológica y las estrategias de innovación productiva en el sector azucarero colombiano.

En las imágenes, los temas destacados de este informe: Clima, cultivo, cosecha y recepción de caña, biotecnología y etanol. Al reverso, *Ficus benghalensis* sembrado en 1983 en la Estación Experimental de Cenicaña.

Créditos de fotografías, de derecha a izquierda: Hernán Felipe Silva Cerón, Alexander Montoya Guerrero, Jorge Eduardo Bravo Jiménez, Victoria Carrillo Camacho.

Publicación Cenicaña
ISSN 0120-5854

Cita bibliográfica
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali. 2011. Informe Anual 2010. Cali, Cenicaña. 160 p.

Producción editorial
Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

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
buzon@cenicana.org

600 ejemplares
Impreso en Colombia

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.

Director Emérito de Cenicaña

1960-1966, Director General del IICA. 1966-1967 y 1969-1970, Ministro de Agricultura de Colombia. 1971, Rector Universidad Jorge Tadeo Lozano. 1972-1974, Subdirector General de la FAO, representante para América Latina. 1973-1976, Presidente y miembro fundador de la Junta Directiva del Ciat. 1974-1978, Presidente de Conif. 1978-1990, Presidente de la Junta Directiva y Director General de Cenicaña. Director Emérito del IICA. Presidente Honorario de la Junta Directiva del Ciat.

In Memoriam

Armando Samper Gnecco (1920-2010)

Un ser humano ejemplar, amable y visionario que dedicó su vida a forjar instituciones para el desarrollo de la agricultura en América Latina.

Siempre acompañado de su esposa Jean, soñaba con ella que el mundo podía ser un enorme jardín y por ello trabajaron juntos incansablemente.

Comprender que los hombres hacen las instituciones*

Obrar con calor humano. Hay que confiar en la gente, para inspirarle confianza. Hay que darle responsabilidades a la gente, para que se sienta parte de la obra. Hay que hacerle sentir a cada cual que todas son igualmente imporantes, para que luche por la obra y la defienda con ardor. Las ideas no son buenas hasta que los demás las consideren como propias. Las obras no son buenas a menos que sigan ya cuando no son nuestras.

* Armando Samper Gnecco. Diez principios de conducta directiva. Palabras pronunciadas por el Ministro de Agricultura de Colombia al imponérsele la Medalla Agrícola Interamericana para 1970 de la OEA. Biblioteca Luis Ángel Arango, Bogotá, 30 de junio de 1970.

Junta Directiva 2010–2012

Juan José Lülle Suárez
Presidente

Nohra Pérez Castillo
Secretaria

Principales

Juan José Lülle Suárez
Presidente
Incauca S.A.

Federico Hollman Sáenz
Miembro Junta Directiva
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
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 Iragorri 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
Guido Mauricio López Ochoa
Presidente
Procaña

Personal Directivo 2010

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

Adolfo León Gómez Perlaza
Director (E)
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

Einar Anderson Acuña
Jefe
Servicio de Tecnología Informática

Adriana Arenas Calderón
Jefe
Servicio de Información y Documentación

Javier Alí Carbonell González
Superintendente
Superintendencia de la Estación Experimental

Comités de Investigación 2010

Campo

Presidente
Camilo Arturo Jaramillo Marulanda
Líder Equipo de Campo
Ingenio María Luisa S.A.

Cosecha

Presidente
Raúl Buenaventura Cobo
Gerente de Cosecha
Ingenio Mayagüez S.A.

Fábrica

Presidente
Javier Melo Rodríguez
Ingeniero Proyectos Especiales Fábrica
Ingenio La Cabaña S.A.

Cenicaña, 33 años de gestión en innovación tecnológica

Estación Experimental.

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

Contenido

4 Desarrollo empresarial responsable

6 Informe del Director General

16 Comportamiento del clima en el valle del río Cauca

25 Producción de caña y azúcar

40 Agricultura específica por sitio (AEPS)

50 Corte de caña, alce, transporte y entrega en fábrica

60 Programa de Variedades

82 Programa de Agronomía

102 Programa de Procesos de Fábrica

114 Servicio de Análisis Económico y Estadístico

124 Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

134 Servicio de Información y Documentación

140 Servicio de Tecnología Informática

143 Superintendencia de la Estación Experimental y Laboratorios

145 Anexo

158 Referencias bibliográficas

159 Siglas y abreviaturas

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.

Visión

Ser un centro de excelencia en investigación e innovación a nivel mundial, generador de tecnologías que hagan competitivo al 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.

Estación Experimental de Cenicaña

Desarrollo Empresarial Responsable

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

La investigación y la innovación tecnológica poseen un valor estratégico para el desarrollo y el crecimiento de las regiones, pues a través de ellas se mejoran los procesos productivos, la capacidad de gestión de las empresas, las competencias de las personas, la calidad de los productos requeridos por la economía y la rentabilidad de las actividades relacionadas.

En Colombia, a través de Cenicaña, el sector azucarero ha propiciado el desarrollo sostenible en las zonas productoras de azúcar y etanol con base en la investigación científica y la transferencia de tecnología, la generación de conocimiento y el compromiso del trabajo conjunto en el uso racional de los recursos naturales renovables y no renovables, la preservación de la biodiversidad y la eficiencia económica. Es por esto que en la agroindustria azucarera colombiana consideramos que Cenicaña es una institución estratégica para la sostenibilidad del sector.

Los estudios coordinados por el centro de investigación para la caracterización de las zonas agroecológicas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar y las soluciones tecnológicas con el enfoque de agricultura específica por sitio, hacen parte del conocimiento colectivo que hoy se aplica en el campo para la conservación y protección de los suelos, los recursos hídricos y la diversidad biológica. Los Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT) han permitido divulgar las nuevas tecnologías a ingenios y cañicultores, promoviendo así la innovación en el sector a través de la integración, el intercambio de experiencias e información y la capacitación.

La meta es ambiciosa. Debemos trabajar sin descanso para adoptar en cada hectárea de caña el mejor paquete tecnológico de acuerdo con las condiciones agroecológicas y socioeconómicas del sitio, de tal manera que avancemos efectivamente en los propósitos de la Planeación Estratégica Sectorial, que se resumen en "Promover una cultura de sostenibilidad y la adopción integral de prácticas sostenibles por parte de todos los actores del sector".

En los últimos años el sector azucarero ha hecho grandes inversiones en recursos económicos, técnicos y humanos para apoyar los propósitos nacionales de uso de etanol carburante como oxigenante de la gasolina consumida en el país. El acompañamiento permanente de Cenicaña en las instalaciones fabriles a través de servicios especializados y proyectos de investigación orientados a la gestión energética, la automatización de procesos y sistemas de control y el aprovechamiento integral de la biomasa azucarera como fuente de nuevos productos, ha sido un bastión para el desarrollo de la industria y su sostenibilidad. En esta misma línea, no podríamos pasar por alto el gran avance que en materia de biotecnología ha tenido Cenicaña, lo cual le permite al sector estar a la vanguardia, junto a los más avanzados a escala internacional.

Así mismo, con los programas de mejoramiento genético de variedades de caña y sanidad vegetal se ha favorecido el desarrollo productivo de las agroindustrias azucarera, panelera y de biocombustibles. De igual modo, gracias a la operación de la Red Meteorológica Automatizada el sector ha prestado servicios de información a la comunidad en general, que resultan de gran utilidad para distintos propósitos y, especialmente, para tomar decisiones en situaciones difíciles de clima como las ocurridas durante 2010.

En todas estas iniciativas y en otras más, el progreso científico y tecnológico ha contribuido a promover el desarrollo equitativo de la sociedad. Así lo reconocen instituciones como Colciencias y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, las universidades locales y las corporaciones autónomas regionales que cada vez, con mayor participación, aportan recursos de cofinanciación y cooperación técnica en los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico promovidos por la agroindustria azucarera, con beneficios para la región y el país.

Los alcances actuales del sector azucarero colombiano se han forjado con la participación de Cenicaña, una corporación privada que nació por iniciativa de los empresarios vallecaucanos, quienes con su aporte y su convicción acerca del valor estratégico de la investigación han contribuido a mantener una dinámica de desarrollo empresarial responsable en las zonas azucareras.

Informe del Director General

Desarrollo tecnológico e innovación ante las adversidades del clima

El cambio climático ha sido cada vez más evidente en el planeta con efectos adversos en los seres humanos, la industria y la agricultura. Esto se reflejó en la ola invernal que afectó a gran parte del país durante el segundo semestre de 2010, incluidos los municipios de influencia del sector azucarero, con pérdidas aún por calcular para las comunidades, la agricultura, los cañicultores, los ingenios y las empresas de la cadena del azúcar.

Los expertos señalan dos aspectos de relevancia en relación con las anomalías climáticas: La sucesión de los fenómenos “El Niño” y “La Niña” está ocurriendo a intervalos de tiempo cada vez menores y la intensidad de estos fenómenos es cada vez mayor.

Los efectos de las anomalías climáticas externas han sido contundentes en el valle del río Cauca. Según los registros de la Red Meteorológica Automatizada (RMA) que opera desde 1994, los años 2008 y 2010 han sido los más lluviosos de los últimos 16 años.

En 2008 la cantidad de precipitación superó en 32% el promedio climatológico de ese momento (1262 mm), lo cual coincidió con la presencia de “La Niña” que se había iniciado en agosto de 2007 y se prolongó hasta mayo; luego de cinco meses de condiciones normales, en noviembre se inició un nuevo evento frío en el océano Pacífico tropical que se intensificó rápidamente y continuó hasta abril siguiente. En junio de 2009 se formó un evento “Niño” que se extendió hasta abril de 2010, para luego pasar de nuevo, en julio, al enfriamiento paulatino de las aguas superficiales del mar que en diciembre alcanzaron temperaturas de -1.5 °C, anomalía que confirma la presencia de “La Niña”. De acuerdo con los registros de la RMA, en el valle del río Cauca la cantidad de precipitación en 2010 fue superior en 29% al promedio climatológico de los últimos 16 años (1275 mm).

Debido a lluvias torrenciales, al finalizar el año aproximadamente 13 mil hectáreas sembradas con caña de azúcar estaban afectadas por inundaciones en zonas circundantes al río Cauca y sus tributarios y en un área equivalente los suelos estaban saturados. La evaluación del área total perdida y el área con impacto o limitaciones para las labores agrícolas se conocerá en los próximos ciclos del cultivo.

Aunque el clima es un factor determinante en la productividad, existen factores complementarios como la edad de cosecha de la caña y el manejo agronómico del cultivo que también inciden.

Así por ejemplo, aunque 2008 y 2009 fueron contrastantes en clima, la producción de caña por hectárea por año fue similar, alrededor de 120 toneladas. En la comparación entre años, en 2009 el rendimiento en azúcar fue superior en 0.3 unidades porcentuales y la producción de azúcar por hectárea, en 0.3 toneladas, con una diferencia de edad de la

caña al corte de 0.5 meses. No se observaron impactos negativos en términos de producción por la presencia sucesiva de los dos fenómenos climáticos; junto con la cosecha de la caña a mayor edad, las condiciones “Niño” en 2009 facilitaron la oportunidad de ejecución de las labores de campo e indujeron rendimientos relativamente altos durante el segundo semestre.

En 2010 la producción promedio de caña por hectárea se redujo en 5.7 toneladas respecto a 2009, el rendimiento en azúcar disminuyó en 0.8 unidades y la edad de la caña cosechada, en 2.2 meses. En 2010 se combinaron los efectos acumulados o rezagados de los fenómenos climáticos de los dos años anteriores, junto con la incidencia de la ola invernal en el segundo semestre y la menor edad de cosecha.

Avances

Para hacerles frente a las adversidades de la naturaleza, el sector azucarero cuenta con la integración de sus actores en objetivos comunes de productividad y competitividad, sustentados en la investigación y el desarrollo tecnológico, la transferencia de tecnología y la adopción de mejores prácticas. Objetivos que atienden los principios de sostenibilidad reconocidos mundialmente y que promueven el mejoramiento de las actividades productivas y el fortalecimiento de la capacidad de adaptación de los agricultores al cambio climático.

Esta plataforma de trabajo cooperativo con la participación de los productores de caña, azúcar y etanol, Asocaña, Tecnicaña y Cenicaña, que puede parecer evidente, sencilla y de rutina, es de gran valor para el sector azucarero, especialmente en las circunstancias adversas que estamos viviendo. Unidos, con metas comunes y con mayor adopción de las tecnologías disponibles, el sector azucarero podrá afrontar con mayor éxito los retos que le exigen las señales de cambio en el régimen climático global y local, así como el entorno en materia de competitividad y sostenibilidad.

Álvaro Amaya Estévez, Ph.D.
Director General de Cenicaña.

Son donantes de Cenicaña los ingenios azucareros afiliados a Asocaña y los cultivadores de caña de azúcar ubicados en el valle geográfico del río Cauca, en los departamentos de Caldas, Cauca, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca.
N
Viterbo
Risaralda
Pereira
La Virginia
Cartago
azucar
Toro
La Unión
Obando
La Victoria
Roldanillo
Zarzal
Riopaila Castilla (planta Riopaila)
Riofrío
Bugalagrande
Carmelita
Tuluá
Sancarlos
Buga
Yotoco
Buenaventura
Pichichí
Guacarí
Ginebra
El Cerrito
Providencia
Manuelita
Yumbo
Palmira
C. Tumaco
Mayagüez
Cali
Riopaila Castilla (planta Castilla)
Candelaria
María Luisa
Florida
Incauca
Miranda
Jamundí
Pto. Tejada
La Cabaña
Río Cauca
Santander de Quilichao
Océano Pacífico
asocaña
TECNICAÑA
Procaña
cenicaña
Zonas agroecológicas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca
Ingenios azucareros
Ingenios duales azúcar-etanol

Los avances que se presentan a continuación incluyen los aspectos de mayor relevancia en el desarrollo tecnológico y la gestión de Cenicaña en 2010, los cuales se describen con más detalles en las páginas siguientes de este informe. La investigación en curso corresponde a la planeación estratégica de Cenicaña al 2030; contempla acciones de corto, mediano y largo plazo, con actividades y metas por quinquenio.

Agricultura específica por sitio

Los experimentos de investigación participativa con los productores, adelantados con el fin de validar los paquetes tecnológicos de agricultura específica por sitio (AEPS) propuestos por Cenicaña, están mostrando los beneficios en productividad y rentabilidad de las tecnologías desarrolladas, producto de la investigación en variedades y agronomía y que han sido aplicadas de acuerdo con la zonificación agroecológica. Ante los efectos de la ola invernal, el reto es motivar a los agricultores para que siembren las variedades de mejor adaptación y mayor estabilidad según el sitio y las manejen de acuerdo con las recomendaciones tecnológicas disponibles por zona agroecológica.

Variedades de caña de azúcar

Hoy existen variedades específicas para las zonas agroecológicas de mayor área, con resultados comerciales o semicomerciales superiores a la variedad CC 85-92, las cuales se recomienda sembrar en las próximas renovaciones. Cenicaña ofrece el servicio de multiplicación de plántulas para el establecimiento de semilleros básicos y cuenta con información acerca del área sembrada con cada variedad en predios de los ingenios y los cultivadores, para orientar a quienes tengan interés en conseguir semilla.

Además de las variedades que actualmente se están evaluando en pruebas regionales, los resultados comerciales ratifican la adaptación y mayor productividad en zonas secas-semisecas de las variedades CC 93-4418, CC 92-2804, CC 93-4181 y CC 93-3826 en relación con la CC 85-92.

También, en el programa de mejoramiento y selección se destacan para las zonas zonas húmedas las variedades CC 01-1940, CC 05-683 y CC 05-940 y, para el piedemonte, CC 98-577, CC 00-3614 y CC 01-174.

Colección de variedades en la Estación Experimental de Cenicaña.

Sanidad del cultivo

La resistencia de las variedades actuales o de las nuevas a enfermedades y plagas tiene riesgo de vulnerabilidad ante la concentración del área sembrada con la variedad CC 85-92. Hoy esta variedad cubre el 71% del área cañera para azúcar y etanol. Entre mayor diversidad genética exista en los campos, menor será el riesgo. Es fundamental entonces la renovación de plantaciones con las nuevas opciones varietales, que se caracterizan por la resistencia a las principales enfermedades y son más productivas.

La roya naranja se detectó en julio de 2010 en caña de azúcar en el valle del río Cauca. Afortunadamente el 98% de las variedades comerciales o en pruebas semicomerciales son resistentes, entre ellas la CC 85-92. El Programa de Variedades ha incluido la resistencia a roya naranja como carácter adicional en la selección de las nuevas variedades.

En relación con el salivazo, este año se constató el desplazamiento del insecto fuera de la zona de cuarentena. El monitoreo permanente y las prácticas culturales han mantenido las poblaciones del insecto en niveles relativamente bajos, sin mayor impacto promedio en la producción, mientras avanzan los estudios de caracterización de microorganismos, hongos, nematodos y parásitos para su control biológico.

Biotecnología

El desarrollo de variedades tiene como fundamento el mejoramiento genético convencional a través de cruzamientos, e involucra los avances en la biología molecular que se están obteniendo en otros cultivos, así como el conocimiento del genoma de la caña de azúcar que se está generando a través del Consorcio Internacional de Biotecnología de la Caña de Azúcar, en el cual participa Cenicaña.

Nuestra Junta Directiva inauguró el Laboratorio de Biotecnología en la Estación Experimental.

Cenicaña cuenta actualmente con una plataforma para realizar la investigación aplicada a la caña de azúcar que se inició a comienzos de la década de 1990.

El 25 de noviembre de 2010 se inauguró el nuevo Laboratorio de Biotecnología, para lo cual se contó con el apoyo de Colciencias. Los proyectos de biología molecular tienen como objetivos principales: 1) Caracterizar la diversidad genética del germoplasma disponible en Cenicaña, así como la diversidad de insectos y microorganismos de interés en el cultivo de la caña y en la producción de etanol, 2) Identificar genes relacionados con la síntesis de sacarosa, mayor biomasa y resistencia a la sequía, principalmente, 3) Insertar genes de interés en las variedades comerciales y 4) Facilitar el diagnóstico de enfermedades que afectan la caña de azúcar.

La infraestructura disponible refleja el compromiso del sector azucarero en la proyección estratégica del Centro con el uso de tecnologías que serán el soporte para nuevos desarrollos agroindustriales.

Uso y manejo del agua

El sector azucarero cuenta con tecnologías para un mejor uso del agua como son el balance hídrico, el control administrativo del riego, el riego por surco alterno, los politubulares y la tubería con ventanas y el riego con caudal reducido, entre otras. Estas tecnologías contribuyen a ahorrar agua, mejorar la productividad y reducir los costos de producción. El aprovechamiento de dichas tecnologías puede ser muy significativo y se requiere mayor adopción por parte de ingenios y cultivadores. Cenicaña continúa con la transferencia de resultados para promover su uso y mantiene el seguimiento acerca de la adopción de dichas tecnologías.

Una de las iniciativas del sector azucarero para promover la adopción de las tecnologías que aseguren un mejor uso del agua es la “Mesa del Agua”, coordinada por Asocaña y con la participación de los ingenios, los cultivadores y Cenicaña, a través de la cual busca el uso eficiente y sostenible del agua, con metas de adopción de las tecnologías disponibles. Cenicaña participa en el desarrollo de investigación complementaria y en programas de capacitación en manejo de aguas dirigidos a los distintos grupos interesados en el sector.

También participa en el Proyecto “Agua para la Vida y la Sostenibilidad” que se adelanta con la coordinación de Asocaña, a través del cual se están realizando acciones de protección de las cuencas hidrográficas en mayor riesgo, que entregan agua a la parte plana del valle del río Cauca. Cenicaña apoya el desarrollo de la metodología para el monitoreo hidrológico, biológico y socioeconómico en algunas cuencas piloto, la cual será referente para la ejecución y monitoreo en otras cuencas.

En 2010 Cenicaña presentó los resultados del proyecto realizado para desarrollar un sistema de registro continuo del caudal en canales abiertos, un mecanismo que contribuye al uso eficiente del agua. El sistema es preciso, trabaja con sensores de ultrasonido y cuenta con dispositivos de registro y almacenamiento de información. Tiene potencial de desarrollo para transmitir la información en tiempo real través de internet.

Acerca del manejo del drenaje, asunto que ha sido incluido recientemente en los temas de la Mesa del Agua, Cenicaña promueve la visión del drenaje con enfoque regional. En el último año el Centro presentó una propuesta al Ingenio Risaralda y a sus proveedores de caña, quienes aprobaron el proyecto de drenaje regional en 1300 hectáreas.

Cosecha y transporte de la caña

En el proyecto integral de corte de caña, alce, transporte y entrega en fábrica (CATE) se ha generado información confiable acerca de los vagones utilizados en el alce y el transporte de caña, de modo que algunos ingenios han retomado el uso de vagones de autovolteo para sacar la caña del campo y hacer transbordo a los vagones de transporte.

En 2010 se recibieron para evaluación los vagones prototipo de descarga alta y descarga lateral elaborados con un diseño estructural y materiales más livianos que los usados en los vagones actuales. Según los resultados con modelos de simulación se estima que el uso de los vagones de bajo peso puede representar ahorros de 6-8% en los costos de CATE.

Procesos industriales

Uno de los mayores insumos en un sistema de producción industrial es la energía. Durante 2010 el Programa de Fábrica completó la caracterización de calderas en varios ingenios, lo cual condujo a ajustes en la operación y en la calidad de la combustión. En algunos ingenios se realizaron los estudios técnicos para la proyección de ampliación de la capacidad de cogeneración.

En evaluaciones realizadas por Cenicaña en varias fábricas se encontró amplia variabilidad en el efecto de la cal usada como agente clarificador de los jugos de caña. De acuerdo con las observaciones se definieron los parámetros básicos para el uso de este insumo en la clarificación y se propuso al sector fijar su compra según los estándares técnicos definidos por Cenicaña y los ingenios. En tal sentido se proyecta la producción y adquisición de cal a través de una acción conjunta entre Asocaña, Dicsa, ingenios y un proveedor de cal que asegure los parámetros de calidad y la oportunidad en el suministro.

Planta de etanol, Ingenio Providencia.

Respecto a la producción de etanol de segunda generación se identificaron bacterias y hongos nativos con potencial de acción celulolítica. Así mismo, algunos microorganismos eficientes en la fermentación de los azúcares derivados de los residuos. Los microorganismos continúan en validación a escala de laboratorio y en pruebas piloto.

Convenios

El conocimiento es un factor de competitividad y, como tal, cada vez existe mayor restricción para tener acceso a la información generada por otros. Los logros tecnológicos del sector azucarero colombiano a través de Cenicaña abren puertas para acceder a la información y el conocimiento que han producido otras instituciones a nivel mundial. Así mismo genera oportunidades para el desarrollo de proyectos conjuntos.

Cenicaña mantiene interacción con los centros de investigación en caña de azúcar pares en el mundo y con instituciones de interés. Durante 2010 continuamos siendo parte del Consorcio Internacional de Biotecnología de la Caña de Azúcar y usamos los resultados generados en la investigación de los países miembros. Mantuvimos los convenios para la importación de variedades y fue así como este años ingresaron a las cuarentenas 25 variedades importadas recientemente de Australia, Brasil y México. También firmamos un convenio de cooperación con el Instituto de Investigación de la Caña de Azúcar del Guangxi Academy of Agricultural Sciences (GXAAS) de China para el intercambio de variedades e información en el área de biotecnología. Mantuvimos el convenio de cooperación técnica con el Centro de Investigación de la caña de Azúcar de Guatemala para el intercambio de variedades con fines de investigación y el apoyo en evaluaciones de plagas y enfermedades

no presentes en Colombia, así como renovamos por cinco años más el convenio con la Cámara Nacional Azucarera y Alcoholera de México para la realización de cruzamientos en la Estación de Hibridación de Tapachula.

Proyección

El desarrollo tecnológico de Cenicaña se proyecta de acuerdo con las necesidades de los ingenios y cultivadores donantes y con las propuestas que el Centro considera pertinentes teniendo como base la planeación estratégica realizada por el sector en 2010 y la planeación estratégica que Cenicaña finalizó el año anterior.

La planeación estratégica de Cenicaña contempla acciones de corto, mediano y largo plazo, con actividades y metas por quinquenio y una proyección al 2030. Se estima que los resultados generarán, como mínimo, incrementos en producción de caña de 31%, producción de azúcar de 58% y reducción de costos de 58% en relación con los valores base de productividad promedia del sector entre los años 2000-2009. El logro de estas metas requiere la acción y el compromiso de los ingenios y los cultivadores en la adopción de las tecnologías disponibles y las que se generen en el transcurso de este período.

Las proyecciones del desarrollo tecnológico se centran en cuatro pilares fundamentales: Azúcar, energía, diversificación agroindustrial y sostenibilidad.

Los programas de investigación y los servicios asociados serán transversales a cada uno de estos pilares a fin de integrar el trabajo, el conocimiento y la transferencia de tecnología en permanente interacción con los ingenios, los cultivadores, Asocaña y las demás entidades del sector.

El mejor conocimiento de las causas de la variabilidad de la producción y el seguimiento de la adopción de las tecnologías de campo está generando las bases para las recomendaciones específicas y la transferencia de tecnología que contribuye a mantener o incrementar la productividad del sector en función de los retos proyectados al 2030.

Las circunstancias adversas de la ola invernal del 2010 y su efecto en los suelos y cultivos abre una oportunidad al sector para usar en mayor grado las tecnologías de campo con el enfoque de la agricultura específica por sitio, la siembra de variedades específicas de mayor producción que la CC 85-92, el uso de tecnologías de drenaje y el ajuste en la fertilización de acuerdo con la humedad de los suelos. El desarrollo tecnológico y la adopción en los años inmediatos serán pilares fundamentales para la recuperación de los efectos de la ola invernal.

La información meteorológica y su análisis, el uso de tecnologías para el monitoreo del desarrollo del cultivo, las tecnologías para el uso del agua y la protección de las cuencas hidrográficas, el manejo integral de plagas y enfermedades, así como una permanente actualización del conocimiento y la capacitación, serán elementos complementarios en los años venideros para contrarrestar los efectos del cambio climático.

En nombre del personal de Cenicaña agradezco a los ingenios y cultivadores de caña el apoyo permanente, la participación en el desarrollo tecnológico y su confianza, que nos permiten ayudar a través del conocimiento al progreso de un sector de impacto en la región y el país. Los logros obtenidos y los inmediatos, contribuirán al compromiso del sector en relación con la responsabilidad social empresarial y la sostenibilidad.

En el valle del río Cauca, más de 13 mil hectáreas sembradas con caña de azúcar resultaron afectadas por la ola invernal ocurrida a finales de 2010.

Estación Experimental de Cenicaña, 31 de mayo de 2010.

Comportamiento del clima en el valle del río Cauca durante 2010

Fenómenos "El Niño" y "La Niña"

En junio de 2009 hizo su aparición en el océano Pacífico tropical un fenómeno de "El Niño" que se intensificó durante todo el segundo semestre y llegó a su estado de máximo desarrollo en diciembre de ese año, cuando las anomalías de la temperatura superficial del mar alcanzaron un valor medio de +1.8 °C, razón por la cual fue catalogado como un evento de magnitud moderada. Este "Niño" se debilitó paulatinamente durante el primer trimestre de 2010 y terminó en abril, cuando en el océano Pacífico tropical tenía lugar un fuerte y rápido descenso del contenido calórico de la capa superficial, proceso que se puede observar en la Figura 1.

En julio de 2010, tan sólo dos meses después de haberse terminado "El Niño", las aguas del océano Pacífico tropical mostraban ya anomalías de la temperatura superficial del mar correspondientes a una condición "Niña", fenómeno que se intensificó durante el segundo semestre, hasta alcanzar en diciembre su etapa de máximo desarrollo, con valores medios de la anomalía de la temperatura superficial del mar de -1.5 °C, correspondientes a una magnitud moderada del evento. En la Figura 2 se muestra la condición térmica que presentaba el océano Pacífico tropical en enero y en diciembre de 2010.

El comportamiento del clima en el valle del río Cauca en cada trimestre de 2010, así como las particularidades del año se describen a continuación.

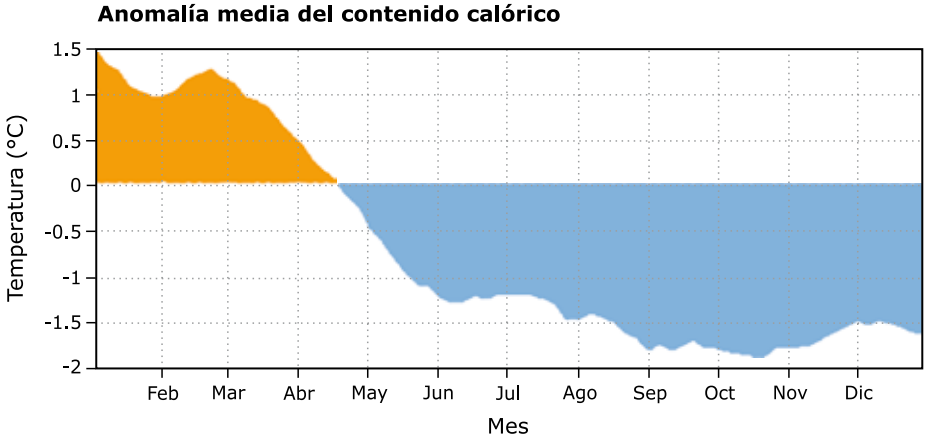


Figura 1. Anomalía media del contenido calórico (°C) de la capa superficial del océano Pacífico tropical (300 metros) durante 2010.
Fuente: NOOA.

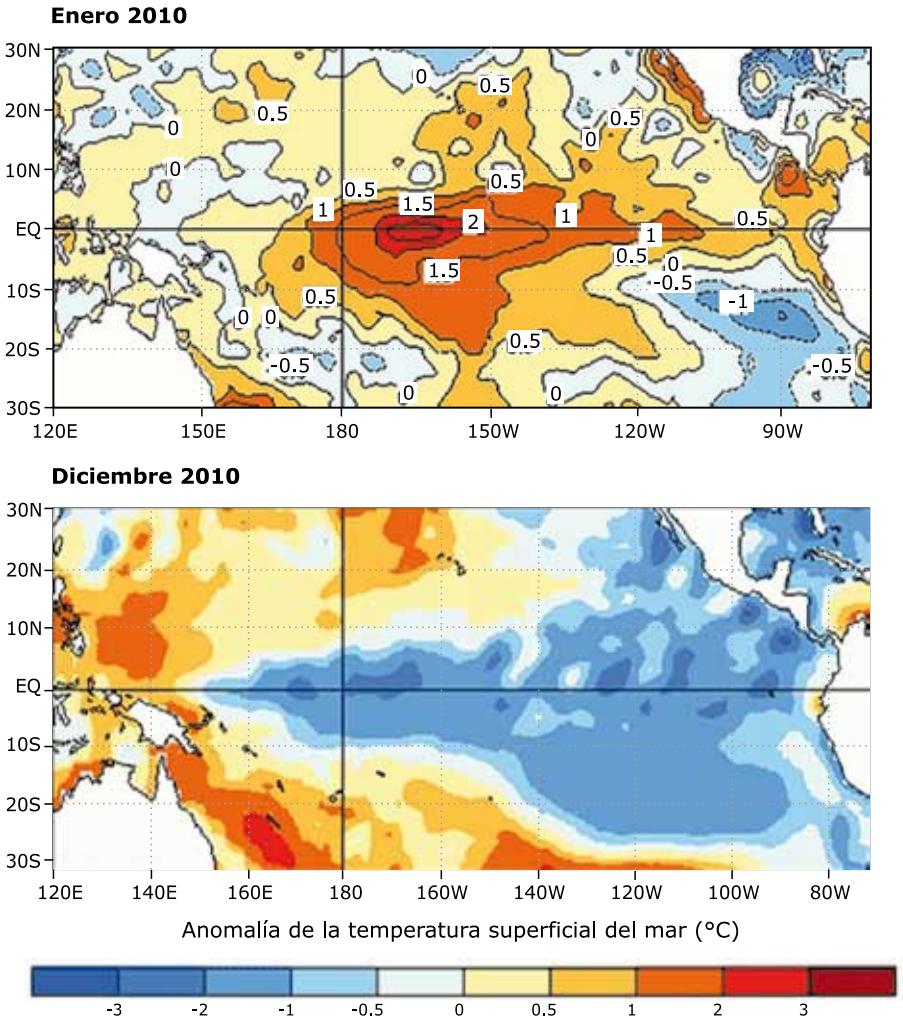


Figura 2. Anomalía media de la temperatura superficial del mar (°C) en el océano Pacífico tropical en enero y en diciembre de 2010.
Fuente: NOOA.

13 de febrero

Primer trimestre

Durante este período el comportamiento de las variables climáticas en el valle del río Cauca estuvo notoriamente influenciado por las condiciones "Niño" presentes en el océano Pacífico tropical: La temperatura del aire, su oscilación media diaria y la temperatura máxima media presentaron valores muy altos, al tiempo que la radiación solar y la evaporación registraron valores altos, comparados con los respectivos valores medios mensuales multianuales. Por el contrario, la humedad relativa del aire, la precipitación y el número de días con precipitación presentaron valores muy por debajo de los característicos para esta época del año (Figura 3).

Segundo trimestre

En este período, cuando en el océano Pacífico tropical tuvo lugar la transición de condiciones "Niño" a condiciones normales, en el valle del río Cauca la temperatura del aire y su oscilación media diaria, la temperatura máxima media, la evaporación y la radiación solar sufrieron un fuerte descenso en comparación con el primer trimestre y mostraron valores por debajo de las respectivas medias mensuales climatológicas. Al mismo tiempo, la humedad relativa del aire, la precipitación y el número de días con precipitación registraron un fuerte aumento respecto al primer trimestre y mostraron valores superiores a las correspondientes medias mensuales multianuales (Figura 3).

1 de agosto

Tercer trimestre

Al inicio del tercer trimestre, cuando aparecía en el océano Pacífico tropical un nuevo fenómeno "La Niña", y en los dos meses siguientes, la condición climática en el valle del río Cauca estuvo marcada por valores de temperatura del aire y su oscilación media diaria, temperatura máxima media, evaporación y radiación solar por debajo de los acostumbrados para la época, mientras que la humedad relativa del aire, la precipitación y el número de días con precipitación mostraron valores por encima de los normales. Las anomalías más marcadas se presentaron en julio (Figura 3).

Cuarto trimestre

Durante el último trimestre de 2010 se registraron precipitaciones muy abundantes ocasionadas por la influencia de "La Niña" en diferentes regiones de Colombia y particularmente en el valle del río Cauca. En esta última región, en noviembre y diciembre, debido a lluvias torrenciales se produjeron inundaciones de gran magnitud que afectaron cerca de 13 mil hectáreas sembradas con caña de azúcar, aproximadamente el 6% del área cultivada por la agroindustria (Figura 3).

13 de noviembre

El número de días con precipitación y la humedad relativa del aire también registraron valores por encima y muy por encima de los tradicionales para este período. Mientras tanto, la temperatura del aire, su oscilación media diaria y la temperatura máxima media, así como la evaporación y la radiación solar mostraron los valores más bajos del año, todos ellos por debajo o muy por debajo de las respectivas medias mensuales multianuales.

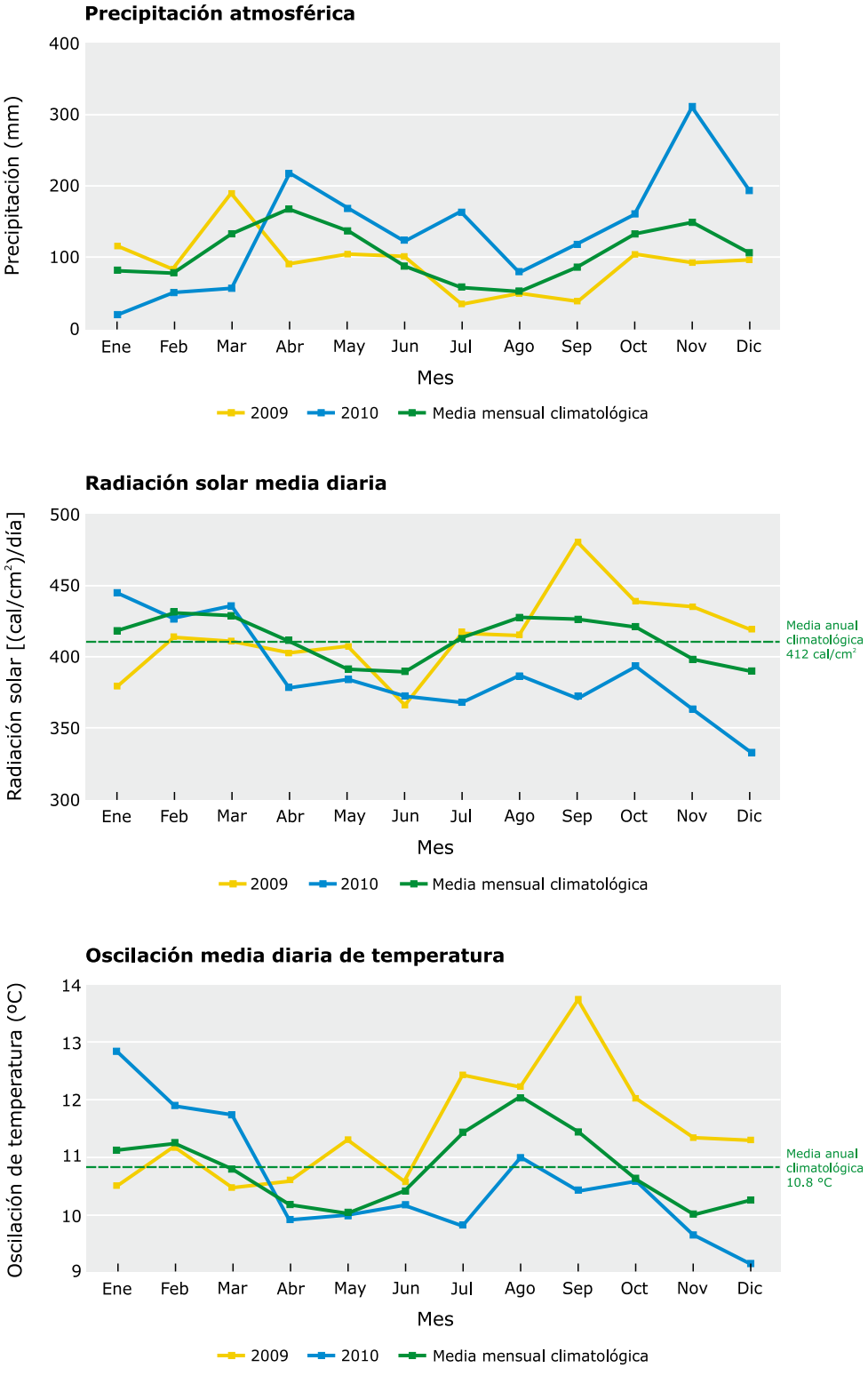


Figura 3. Precipitación atmosférica, radiación solar media diaria y oscilación media diaria de temperatura. Promedios mensuales en el valle del río Cauca. Años 2009, 2010 y climatológico 1994-2010.

Fuente: RMA, Cenicaña.

Particularidades del clima en 2010

De acuerdo con las condiciones climáticas externas, el clima en el valle del río Cauca se vio influido por "El Niño" desde enero hasta abril y, luego, por "La Niña", a partir de julio y hasta diciembre. Se presentaron contrastes muy marcados entre un trimestre y el siguiente y entre semestres. Los cambios más significativos se observaron entre el primer trimestre y el segundo. Respecto al período 1994-2010, el último año fue de valores extremos (récord) en casi todas las variables climatológicas principales, lo cual se observó a escala mensual, trimestral, semestral y anual.

Con base en el análisis de la información anual obtenida de las estaciones de la Red Meteorológica Automatizada (RMA) durante el período 1994-2010, los valores de las principales variables climatológicas para el año 2010 en el valle del río Cauca se pueden clasificar de la manera siguiente (Figuras 4 y 5; Cuadros 1 y 2):

- Temperatura mínima media: Tercer valor más alto (19.0 °C)
- Temperatura media, temperatura máxima media y humedad relativa del aire: Valores exactamente iguales a las correspondientes medias anuales multianuales (23.1 °C, 29.6 °C y 81%, respectivamente)
- Oscilación media diaria de temperatura: Cuarto valor más bajo (10.6 °C)
- Precipitación atmosférica: Segundo año más lluvioso (1652 mm) luego de 2008 (1664 mm)
- Número de días con precipitación: Cuarto valor más alto (201 días)
- Evaporación total: Cuarto valor más bajo (1549 mm)
- Radiación solar media diaria: Año con el valor más bajo (389 cal/cm^2 por día)

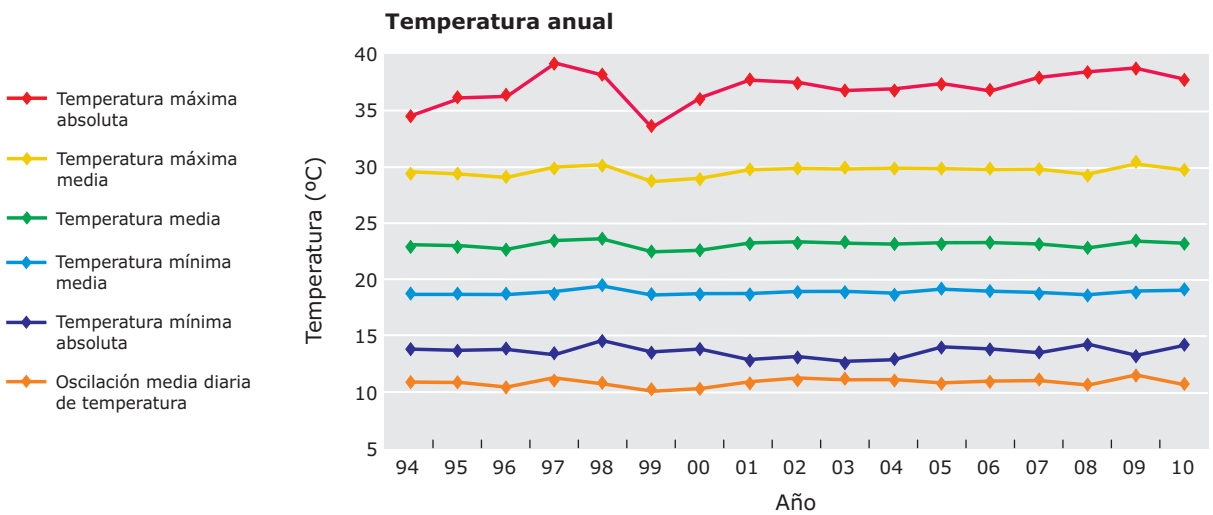


Figura 4. Temperatura del aire. Promedios y extremos anuales en el valle del río Cauca. Período 1994-2010.
Fuente: RMA, Cenicaña.

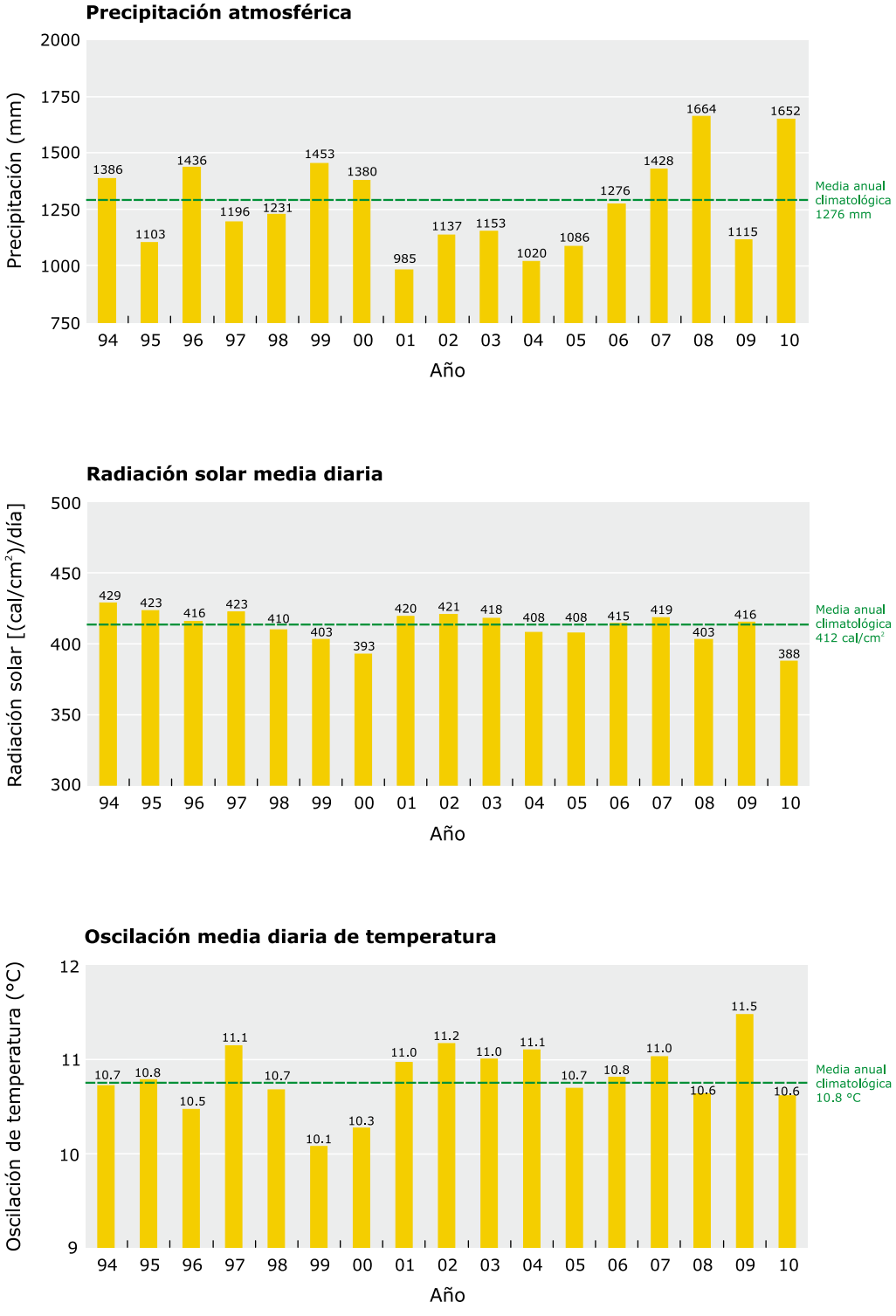


Figura 5. Precipitación atmosférica, radiación solar media diaria y oscilación media diaria de temperatura. Promedios anuales en el valle del río Cauca. Período 1994-2010.
Fuente: RMA, Cenicaña.

Cuadro 1. Resumen comparativo del clima en el valle del río Cauca. Red Meteorológica Automatizada (1994-2010).

Temperatura mínima absoluta (°C)			
Año	**Sem. 1**	**Sem. 2**	**Anual**
Años de mayor temperatura mínima absoluta			
1998	14.5	14.8	14.5
2008	14.4	14.2	14.2
2010	**15.0**	**14.1**	**14.1**
Años intermedios			
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
Años de menor temperatura mínima absoluta			
2004	12.8	13.7	12.8
2001	13.6	12.7	12.7
2003	14.6	12.6	12.6
Clima	12.8	12.6	12.6

Temperatura mínima media (°C)			
Año	**Sem. 1**	**Sem. 2**	**Anual**
Años de mayor temperatura mínima media			
1998	19.9	18.9	19.4
2005	19.5	18.8	19.1
2010	**19.4**	**18.6**	**19.0**
Años intermedios			
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
Años de menor temperatura mínima media			
2000	18.8	18.5	18.7
1999	18.8	18.4	18.6
1996	18.7	18.4	18.6
Clima	19.0	18.7	18.8

Temperatura media del aire (°C)			
Año	**Sem. 1**	**Sem. 2**	**Anual**
Años de mayor temperatura media (años más cálidos)			
1998	24.3	23.0	23.6
1997	23.1	23.8	23.5
2009	23.1	23.9	23.5
Años intermedios			
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
2008	22.7	22.7	22.7
Años de menor temperatura media (años más fríos)			
1996	22.6	22.7	22.6
2000	22.5	22.8	22.6
1999	22.6	22.5	22.5
Clima	23.2	23.0	23.1

Temperatura máxima absoluta (°C)			
Año	**Sem. 1**	**Sem. 2**	**Anual**
Años de mayor temperatura máxima absoluta			
1997	34.8	39.2	39.2
2009	37.8	38.9	38.9
2008	35.2	38.5	38.5
Años intermedios			
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
Años de menor temperatura máxima absoluta			
2000	32.9	36.0	36.0
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**
Años de mayor temperatura máxima media			
2009	29.7	31.1	30.4
1998	30.8	29.3	30.1
1997	30.8	30.8	30.0
Años intermedios			
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
2008	29.3	29.2	29.3
Años de menor temperatura máxima media			
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**
Años de mayor oscilación media diaria de temperatura			
2009	10.8	12.2	11.5
2002	10.9	11.4	11.2
1997	10.2	12.1	11.1
Años intermedios			
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
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**
Años de menor oscilación media diaria de temperatura			
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

Continúa

Cuadro 1. Continuación.

Humedad relativa del aire (%)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Año de mayor humedad relativa (años más húmedos)			
2000	88	86	87
1999	87	86	86
2001	86	84	85
Años intermedios			
1998	83	84	84
1996	85	82	84
2002	85	80	82
1995	81	83	82
1997	84	78	81
2008	81	81	81
2010	**79**	**83**	**81**
2003	80	81	81
2004	80	80	80
1994	82	78	80
2007	79	80	79
Años de menor humedad relativa (años más secos)			
2005	81	78	79
2006	80	76	78
2009	81	76	78
Clima	82	80	81

Precipitación (mm)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayor precipitación (años más lluviosos)			
2008	960	704	1664
2010	**635**	**1009**	**1644**
1999	820	633	1453
Años intermedios			
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
Años de menor precipitación (años menos lluviosos)			
2005	543	544	1086
2004	461	559	1020
2001	527	458	985
Clima	690	585	1275

Días con precipitación			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayor número de días con precipitación			
2008	112	113	225
1999	111	99	210
2000	113	90	203
Años intermedios			
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
Años de menor número de días con precipitación			
2004	71	86	157
1997	92	58	150
2002	65	70	135
Clima	92	88	180

Evaporación (mm)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayor evaporación			
1994	821	907	1729
2009	785	940	1725
1995	862	847	1710
Años intermedios			
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
2010	**829**	**720**	**1549**
Años de menor evaporación			
2005	693	842	1535
1999	728	760	1488
2000	715	754	1469
Clima	794	830	1624

Radiación solar [(cal/cm²)/día]			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
Años de mayor radiación solar media diaria			
1994	425	433	429
1995	430	417	423
1997	417	429	423
Años intermedios			
2002	413	429	421
2001	421	419	420
2007	424	413	419
2003	426	410	418
1996	410	421	416
2009	397	435	416
2006	407	422	415
1998	416	403	410
2004	413	403	408
2005	392	424	408
2008	412	394	403
Años de menor radiación solar media diaria			
1999	404	402	403
2000	389	397	393
2010	**407**	**371**	**389**
Clima	412	413	413

Cuadro 2. Resumen del clima en el valle del río Cauca. Promedios y extremos para años 2009 y 2010 y climatológico 1994-2010.
Fuente: RMA, Cenicaña.

Variable Climatológica	Semestre 1			Semestre 2			Año		
	2009	2010	Clima-tológico	2009	2010	Clima-tológico	2009	2010	Clima-tológico
Temperatura mínima absoluta (°C)	15.1	15.0	12.8	13.1	14.1	12.6	13.1	14.1	12.6
Temperatura mínima media (°C)	18.9	19.4	19.0	18.9	18.6	18.7	18.9	19.0	18.8
Temperatura media del aire (°C)	23.1	23.9	23.2	23.9	22.4	23.0	23.5	23.1	23.1
Temperatura máxima media (°C)	29.7	30.5	29.7	31.1	28.7	29.6	30.4	29.6	29.6
Temperatura máxima absoluta (°C)	37.8	37.0	37.8	38.9	37.8	39.2	38.9	37.8	39.2
Oscilación media diaria de la temperatura (°C)	10.8	11.1	10.6	12.2	10.1	11.0	11.5	10.6	10.8
Humedad relativa media (%)	81	79	82	76	83	81	78	81	82
Precipitación (mm)	693	635	690	422	1009	585	1115	1644	1275
Días con precipitación (No.)	95	79	92	72	122	88	167	201	180
Evaporación (mm)	785	829	794	940	720	830	1725	1549	1624
Radiación solar media diaria [(cal/cm²)/día]	397	407	412	435	371	413	416	389	413

Estación meteorológica Cenicaña.

Estadísticas descriptivas 2009-2010

Producción de caña y azúcar en el valle del río Cauca

El análisis descriptivo de los indicadores de productividad se basa en los datos suministrados por los ingenios azucareros Carmelita, Incauca, La Cabaña, María Luisa, Manuelita, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Riopaila Castilla (dos plantas), Risaralda y Sancarlos acerca de la caña de azúcar cultivada en tierras propias y en tierras de productores y proveedores de caña. Los resultados de campo y los totales de caña molida y azúcar producido corresponden a los datos de 13 ingenios, incluido el Ingenio Central Tumaco. Los demás resultados industriales se refieren a los promedios y totales de 12 ingenios azucareros (citados antes), cinco de ellos con producción dual de azúcar y etanol (Incauca, Manuelita, Mayagüez, Providencia y Risaralda).

Ingenio Providencia.

De acuerdo con el análisis comparativo entre años, los resultados generales muestran diferencias negativas para 2010 en trece indicadores de los veinte descritos y diferencias positivas en siete indicadores, entre los que se cuentan cuatro referentes a pérdidas de sacarosa en el proceso industrial.

De modo singular, durante 2010 se presentaron dos períodos de precipitaciones extremas contrastantes: al comienzo el año fue muy escaso en lluvias, tiempo seco que se prolongó por tres meses hasta cuando comenzaron de nuevo las precipitaciones, debido a las cuales se alcanzaron en el cuarto mes niveles de exceso en algunas zonas del valle del río Cauca, una situación que se extendió a casi todo el valle a partir del décimo mes y que se mantuvo durante el resto del año. Las precipitaciones en los tres últimos meses fueron muy altas y causaron la saturación de los suelos y el rompimiento de diques, de tal forma que alrededor de 13 mil hectáreas con caña resultaron afectadas por las inundaciones y en muchos sitios el nivel freático superficial permaneció durante un tiempo prolongado.

En general, en la mayor parte del área con caña la cantidad de lluvia alcanzó en 2010 valores muy altos con respecto a la media mensual climatológica y a los registros de 2009, mientras que la radiación solar media diaria presentó el valor medio más bajo de los últimos 16 años. La oscilación media diaria de la temperatura, aunque baja, se mantuvo dentro del rango normal.

Resultados generales

El resumen de los indicadores de productividad de la agroindustria entre enero y diciembre de 2009 y 2010 se presenta en el Cuadro 3. Del análisis se concluye lo siguiente:

- Al 31 de diciembre de 2010 había en el valle del río Cauca 218,311 ha sembradas con caña de azúcar para la producción de azúcar y etanol, de las cuales 172,421 ha fueron cosechadas durante el año.
- La caña de azúcar estaba distribuida en 22,948 suertes (lotes) y al momento de la cosecha tenía, en promedio, alrededor de 12.4 meses de edad y 5.4 cortes. En el 89% del área se encontraban las variedades CC 85-92, CC 84-75 y V 71-51.
- Los ingenios molieron en total 20’141,093 toneladas de caña y produjeron 2´269,750 toneladas de azúcar.
- La producción total de etanol alcanzó la cifra de 286’995,000 litros (286,995 m^3).
- La mayoría de los indicadores registraron descenso en 2010 respecto a los valores de 2009. Las diferencias (totales y promedios) fueron: Área cosechada (-20,232 ha), número de suertes cosechadas (-2322 suertes), edad de corte (-2.2 meses), toneladas de caña y azúcar por hectárea (-6 TCH y -1.4 TAH), rendimiento comercial en azúcar (-0.7 unidades), toneladas totales de caña molida y azúcar producido (-3’345,828 t y -541,476 t, respectivamente), rendimiento real con base en 99.7% pol (-0.7 unidades), fibra en caña (-0.01 unidades porcentuales), sacarosa aparente en caña (-0.7 unidades porcentuales), pérdidas de sacarosa en bagazo % sacarosa caña (-0.2 unidades) y etanol anhidro (-37,903 m^3).

Cuadro 3. Indicadores de productividad de la agroindustria azucarera colombiana en 2009 y 2010.

Indicador	Trimestres 2010				Enero-Diciembre		Diferencia 2010-2009 % - ºC	Desviación estándar 2010
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	2009	2010		
Campo (datos de trece ingenios) [1]								
Área neta sembrada en caña (ha)	-	-	-	-	208,254	218,311	4.8	
Área cosechada (ha)	49,479	37,845	48,975	35,997	192,529	172,421	-10.4	
Número de suertes cosechadas	6560	5152	6284	4930	25,248	22,948	-9.1	
Edad de corte (meses)	12.4	12.2	12.4	12.5	14.6	12.4	-15.1	1.1
Número de corte	5.5	5.7	5	5.3	5.2	5.4	3.8	3.6
Ton de caña por hectárea (TCH)	105.3	110.0	120.7	124.1	120.3	114.6	-4.7	27.1
Ton de caña por hectárea mes (TCHM)	8.5	9.1	9.8	10.0	8.4	9.3	10.7	2.2
Ton de azúcar por hectárea (TAH)	12.8	11.7	13.0	13.4	14.2	12.8	-9.9	3.2
Ton de azúcar por hectárea mes (TAHM)	1.04	0.97	1.05	1.08	1.00	1.04	4.0	0.252
Rendimiento comercial (%) [2]	12.2	10.7	10.8	10.8	11.8	11.1	-5.9	1.3
Fábrica (datos de doce ingenios) [3]								
Toneladas totales de caña molida [4]	5,322,857	4,316,883	5,985,401	4,515,963	23,486,921	20,141,093	-14.2	
Toneladas totales de azúcar producido [5]	655,032	460,413	654,157	500,162	2,811,226	2,269,750	-19.3	
Rendimiento real en base a 99.7% Pol [6]	12.35	10.71	10.92	10.93	11.95	11.25	-5.8	
Fibra % caña	14.67	15.11	14.47	15.42	14.88	14.87	-0.09	
Sacarosa aparente % caña	14.05	12.41	12.52	12.62	13.62	12.92	-5.1	
Pérdidas de sacarosa en bagazo % sacarosa caña	4.15	4.30	4.01	4.19	4.35	4.15	-4.6	
Pérdidas de sacarosa en cachaza % sacarosa caña	0.46	0.75	0.66	0.91	0.60	0.68	13.0	
Pérdidas de sacarosa en indeterminadas % sacarosa caña	1.23	1.95	1.49	1.92	1.28	1.62	26.6	
Pérdidas de sacarosa en miel final % sacarosa caña	6.34	6.88	6.89	6.59	6.24	6.67	6.89	
Destilería (datos de cinco ingenios)								
Litros de etanol (miles)	80,489	70,260	80,657	55,977	326,274	286,995	-12.0	
Clima (datos de 34 estaciones RMA) [7]								
Precipitación (mm)	126	509	360	649	1115	1644	47.4	
Oscilación media diaria de la temperatura (ºC)	12.2	10.0	10.4	9.9	11.5	10.6	-0.54 ºC	
Radiación solar media diaria (cal/cm²xdía)	436	378	375	368	416	389	-6.4	
Condición climática externa	Niño	Normal	Niña	Niña	Normal-Niño	Niño-Niña		

1. Ingenios Carmelita, Incauca, La Cabaña, María Luisa, Manuelita, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Riopaila Castilla (dos plantas), Risaralda y Sancarlos.
2. Rendimiento comercial: Porcentaje (%) de azúcar (en peso) recuperado por tonelada de caña molida. Resultado promedio ponderado por las toneladas totales de caña molida. Ver numeral 4 en este pie de cuadro.
3. 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.
4. 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).
5. Toneladas totales de azúcar producido: Suma de las toneladas totales de las diferentes clases de azúcar producido.
6. 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 99.7º, el cual corresponde al tipo de azúcar de mayor producción en el sector, el azúcar blanco.
7. RMA: Red Meteorológica Automatizada de la agroindustria colombiana de la caña de azúcar.

Valores medios multianuales 1994-2010	Precipitación (mm)	Radiación solar media diaria [(cal/cm²)/día]	Oscilación media diaria de la temperatura (°C)
Primer trimestre (ene.-mar.)	291	419	10.9
Segundo trimestre (abr.-jun.)	372	394	10.2
Tercer trimestre (jul.-sep.)	200	414	11.6
Cuarto trimestre (oct.-dic.)	369	398	10.3

- Los indicadores que aumentaron en 2010 respecto a 2009 fueron: Número de corte (0.5 cortes), toneladas de caña y azúcar por hectárea y mes (0.9 TCHM y 0.04 TAHM), pérdidas de sacarosa en cachaza % sacarosa caña (0.08 unidades), pérdidas de sacarosa en miel final (0.43 unidades) y pérdidas de sacarosa indeterminadas (0.34 unidades).

Observaciones en campo

El descenso de la producción total de caña y azúcar fue debido a la disminución del tonelaje de caña por hectárea, el rendimiento comercial y el área cosechada.

Entre los factores que influyeron en la disminución del tonelaje se cuentan la edad de cosecha, que en todos los trimestres de 2010 estuvo por debajo de 12.5 meses y el efecto del exceso de lluvias que causó daño a las cepas y compactación del suelo en las suertes cosechadas, además de impedir la realización oportuna de las labores del cultivo en las suertes en desarrollo (Figura 6).

La disminución del promedio anual del rendimiento comercial en azúcar estuvo muy asociada con las condiciones de clima presentes durante 2010, año en el cual las tendencias históricas del rendimiento, la precipitación, la radiación solar y la oscilación de la temperatura se vieron invertidas en el análisis por semestre. Debido al cambio en los patrones del tiempo meteorológico durante el último año, el rendimiento fue superior en el primer semestre e inferior en el segundo, en comparación con los promedios obtenidos en los mismos períodos de 2009 y en los registros históricos (Figura 6).

Los incrementos en TCHM y TAHM en 2010 estuvieron más asociados a la disminución de la edad de cosecha que a un incremento de la productividad en términos de caña y azúcar.

Para el 2011 es muy probable que el tonelaje de caña por hectárea resulte muy afectado por las lluvias excesivas que trajo consigo el fenómeno de “La Niña” registrado en 2010.

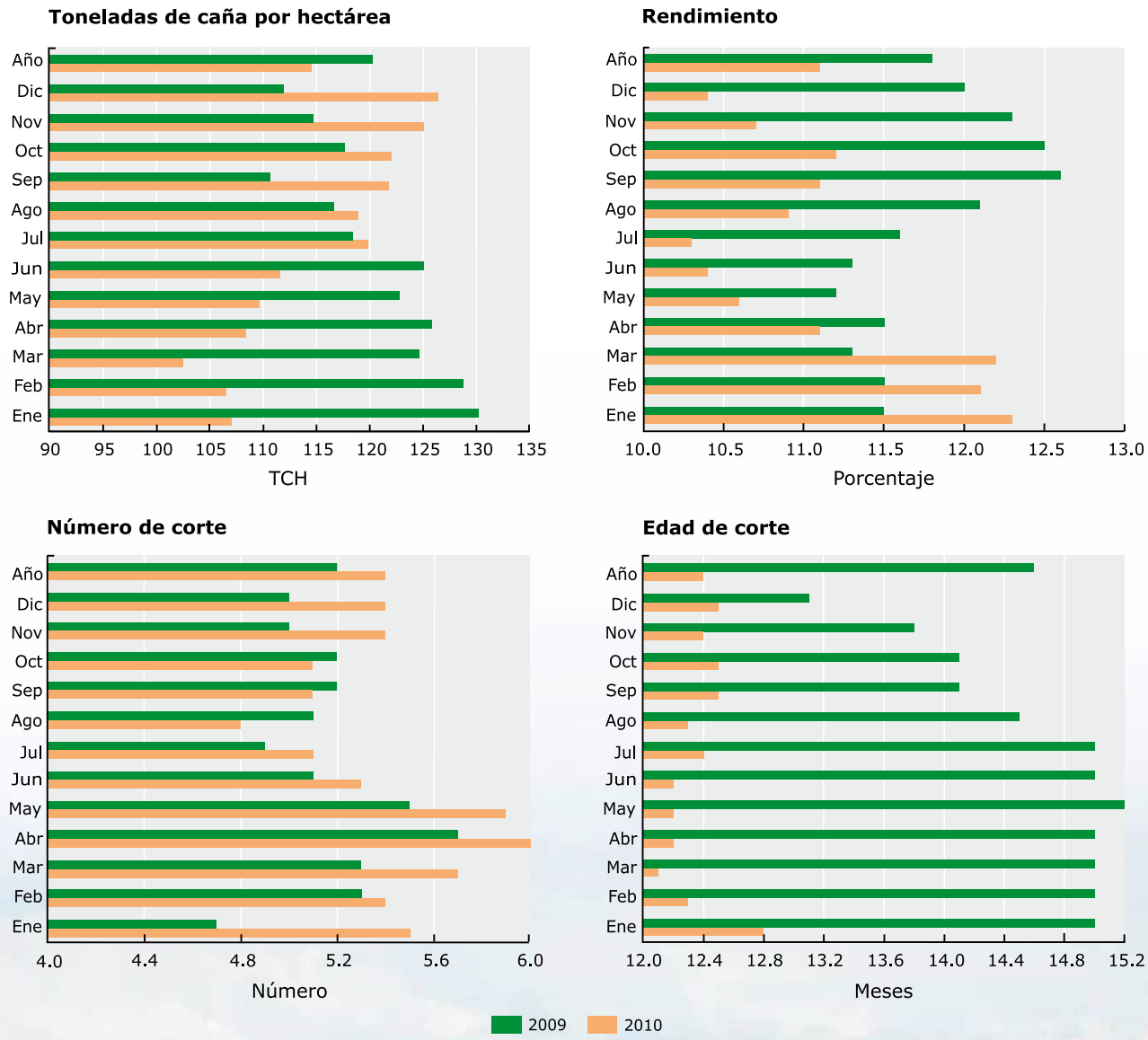


Figura 6. Indicadores de la productividad de campo de la agroindustria azucarera colombiana en 2009 y 2010. Datos de doce ingenios.

Variedades de caña de azúcar

Las variedades de caña más cosechadas en 2010 fueron CC 85-92 (74%), CC 84-75 (12.2%) y V 71-51 (2.8%), lo cual indica que los resultados de productividad del sector están influenciados fuertemente por las variaciones de la CC 85-92. Las tres variedades principales se encontraban en el 89% del área cosechada y otras variedades CC ocupaban el 5.3% (Cuadro 4).

Acerca del censo de las variedades sembradas al 31 de diciembre de 2010, se observa que la CC 85-92 permaneció estable respecto a 2009 en términos de participación en área. Las variedades CC 93-4418, CC 93-3826 y la CC 93-4181 registraron incrementos en participación; la primera duplicó su porcentaje y superó a la PR 61-632. Las demás variedades permanecieron estables o disminuyeron su participación (Cuadro 5).

Los resultados de productividad con las variedades CC cosechadas en 14 zonas agroecológicas (64% del área cosechada) se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 4. Variedades comerciales y semicomerciales en el área cosechada con caña de azúcar en el valle del río Cauca. Datos de doce ingenios, 2009 y 2010.

Variedad	Participación en el área cosechada (%)	
	Ene.-Dic. 2009	Ene.-Dic. 2010
CC 85-92	72.0	74.0
CC 84-75	13.1	12.2
V 71-51	3.9	2.8
PR 61-632	1.8	1.6
Miscelánea	1.6	1.6
CC 93-4418	0.7	1.2
CC 93-3895	1.0	1.2
CC 93-3826	0.3	0.7
CC 92-2198	0.7	0.7
MZC 74-275	0.9	0.6
CC 93-4181	0.3	0.5
RD 75-11	0.7	0.5
CC 92-2804	0.3	0.4
CC 87-434	0.4	0.3
CC 93-7510	0.5	0.3
Co 421	0.3	0.3
Otras	1.5	1.3
Total	100.0	100.0

Cuadro 5. Variedades comerciales y semicomerciales en el área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca. Datos de trece ingenios, 2009 y 2010.

Variedad	Participación en el área sembrada (%)	
	Ene.-Dic. 2009	Ene.-Dic. 2010
CC 85-92	71.4	71.5
CC 84-75	11.6	10.4
V 71-51	3.1	2.6
CC 93-4418	1.2	2.4
PR 61-632	1.6	1.4
CC 93-3895	1.0	0.9
CC 93-3826	0.7	0.8
CC 92-2198	0.7	0.7
Miscelánea	1.2	1.2
CC 93-4181	0.4	0.6
MZC 74-275	0.7	0.5
CC 92-2804	0.5	0.5
RD 75-11	0.4	0.3
CC 87-434	0.3	0.2
Co 421	0.3	0.2
Otras variedades	1.6	1.9
Renovación	3.0	4.0
Total	100.0	100.0

Cuadro 6. Productividad de variedades Cenicaña Colombia (CC) cosechadas en las catorce zonas agroecológicas más representativas de la agroindustria azucarera colombiana en 2010. Datos de doce ingenios.

Zona agroecológica	Variedad	Número de suertes	Área cosechada (ha)	Rto. ccial. (%)	TCH	TAH	TCHM	TAHM	Edad (meses)	Corte (no.)
1H1 (3049.06 ha cosechadas)	CC 85-92	225	2050.8	11.5	110.0	12.6	8.8	1.01	12.6	4.2
	CC 84-75	63	705.6	10.9	93.5	10.2	7.7	0.84	12.2	4.9
	CC 92-2804	6	31.2	11.0	108.4	11.9	9.1	1.00	11.9	2.5
	CC 93-3826	2	29.6	11.6	118.9	13.8	10.1	1.18	11.7	1.0
			2817							
5H3 (3276 ha cosechadas)	CC 85-92	202	1714.3	11.5	106.5	12.2	8.7	1.00	12.4	5.1
	CC 84-75	91	1075.0	10.6	113.8	12.0	9.5	1.00	12.1	3.9
	CC 93-3826	6	54.7	11.4	118.5	13.5	10.3	1.17	11.6	4.1
	CC 93-3895	7	45.3	11.1	111.8	12.4	9.5	1.05	11.8	3.4
	CC 92-2198	6	39.1	10.0	108.4	10.8	9.2	0.92	11.8	4.2
			2928							
6H1 (22,475.5 ha cosechadas)	CC 85-92	1579	15,754.6	11.6	121.4	14.1	9.8	1.13	12.5	5.3
	CC 84-75	247	2521.0	11.0	117.6	12.9	9.5	1.04	12.5	5.0
	CC 93-3895	47	396.3	12.1	116.8	14.1	9.5	1.14	12.4	3.0
	CC 92-2198	29	263.7	11.5	125.1	14.4	9.8	1.12	12.9	2.8
	CC 93-4418	21	220.8	11.5	118.6	13.7	9.6	1.10	12.4	2.2
	CC 92-2804	25	193.3	11.9	128.6	15.3	10.3	1.22	12.7	3.2
	CC 93-4181	26	185.9	12.0	126.6	15.2	10.6	1.27	12.0	2.0
	CC 93-3826	23	167.7	10.8	126.8	13.7	10.5	1.13	12.2	1.9
			19,703							
6H2 (4019.5 ha cosechadas)	CC 85-92	323	2688.7	11.0	104.7	11.5	8.6	0.94	12.3	3.9
	CC 84-75	88	786.1	11.0	104.9	11.5	8.4	0.92	12.5	3.9
	CC 92-2198	9	56.8	10.4	106.0	11.0	8.2	0.85	13.0	2.0
	CC 93-3895	8	53.2	11.4	115.1	13.2	8.9	1.01	13.1	3.2
	CC 93-4418	6	30.5	11.1	87.3	9.7	6.9	0.78	12.7	2.1
	CC 93-3826	2	19.0	9.0	142.0	12.8	11.3	1.02	12.5	1.0
	CC 92-2804	2	7.6	10.9	122.2	13.3	10.7	1.17	11.4	2.8
			3642							
6H3 (2299.7 ha cosechadas)	CC 85-92	297	1569.3	10.9	101.0	11.0	8.5	0.93	11.9	4.6
	CC 84-75	67	489.3	10.5	94.6	9.9	7.8	0.81	12.2	4.1
	CC 92-2198	4	42.2	10.7	89.0	9.6	7.0	0.75	12.7	3.0
	CC 93-3895	6	31.3	10.6	89.6	9.5	7.5	0.79	12.0	5.0
	CC 92-2804	2	25.1	11.1	108.9	12.1	9.3	1.03	11.7	3.0
	CC 93-4418	2	5.7	11.1	131.6	14.6	10.2	1.14	12.9	1.3
			2163							

Continúa

Cuadro 6. Continuación.

Zona agroecológica	Variedad	Número de suertes	Área cosechada (ha)	Rto. ccial. (%)	TCH	TAH	TCHM	TAHM	Edad (meses)	Corte (no.)
10H3 (3634.9 ha cosechadas)	CC 85-92	282	2719.0	11.2	120.0	13.5	9.7	1.09	12.5	4.2
	CC 84-75	43	404.9	10.5	115.8	12.1	9.7	1.01	12.0	4.5
	CC 93-4418	4	38.0	11.5	143.6	16.6	11.4	1.32	12.6	1.7
	CC 93-3895	5	36.1	11.2	95.2	10.6	7.4	0.84	13.0	1.7
	CC 93-3826	4	33.1	12.4	105.1	13.0	9.0	1.12	11.7	3.0
	CC 93-4181	3	31.1	11.8	106.4	12.6	8.4	0.99	12.7	1.6
	CC 92-2198	2	17.6	12.2	95.0	11.6	8.6	1.05	11.1	3.4
			3280							
10H4 (3061.7 ha cosechadas)	CC 85-92	414	2474.8	11.0	107.8	11.8	8.8	0.96	12.3	4.0
	CC 84-75	45	315.7	10.6	95.4	10.1	7.8	0.83	12.2	5.2
	CC 92-2804	4	29.6	11.4	135.8	15.5	10.8	1.23	12.6	2.9
	CC 93-3895	3	8.9	10.5	110.9	11.7	9.8	1.03	11.5	2.8
			13,714							
10H5 (3373.7 ha cosechadas)	CC 85-92	431	2594.9	11.0	105.4	11.5	8.7	0.95	12.2	4.8
	CC 84-75	55	529.2	10.7	93.8	10.0	7.5	0.80	12.5	6.3
	CC 93-3895	6	19.0	10.6	122.5	12.9	10.1	1.07	12.1	4.6
	CC 93-4418	2	8.3	10.0	110.7	11.1	9.6	0.96	11.5	2.7
			3151							
11H0 (12,602.2 ha cosechadas)	CC 85-92	886	9424.9	11.3	125.2	14.2	10.1	1.15	12.4	5.6
	CC 84-75	76	677.9	10.8	119.8	12.9	9.6	1.04	12.5	5.1
	CC 93-4418	30	284.8	11.1	129.1	14.3	10.4	1.15	12.5	1.9
	CC 93-3895	18	186.7	10.4	128.9	13.5	10.3	1.08	12.5	3.5
	CC 92-2198	11	140.9	11.6	148.9	17.2	11.7	1.35	12.8	3.0
	CC 93-3826	9	106.5	10.7	123.3	13.2	10.3	1.10	12.1	1.2
	CC 92-2804	3	42.8	11.6	126.4	14.6	11.1	1.29	11.4	2.8
	CC 93-4181	5	39.2	10.9	151.9	16.6	12.7	1.39	12.0	1.5
			10,904							
11H1 (15,544.8 ha cosechadas)	CC 85-92	1261	11,792.8	11.3	125.1	14.2	10.2	1.15	12.4	5.6
	CC 84-75	168	1588.5	11.0	121.3	13.3	9.8	1.08	12.4	6.0
	CC 93-4418	35	305.0	11.0	137.6	15.1	11.0	1.20	12.6	1.9
	CC 93-3895	19	190.7	11.5	117.0	13.5	9.5	1.09	12.4	3.1
	CC 93-4181	21	139.5	11.3	136.1	15.3	11.1	1.25	12.4	2.1
	CC 92-2198	14	133.7	10.5	134.2	14.2	10.7	1.13	12.6	2.9
	CC 93-3826	6	68.6	10.8	121.6	13.1	10.1	1.09	12.1	2.3
	CC 92-2804	5	26.5	10.5	130.5	13.7	11.7	1.22	11.2	6.3
			14,245							

Continúa

Cuadro 6. Continuación.

Zona agroecológica	Variedad	Número de suertes	Área cosechada (ha)	Rto. ccial. (%)	TCH	TAH	TCHM	TAHM	Edad (meses)	Corte (no.)
11H2 (6002.6 ha cosechadas)	CC 85-92	626	4856.2	11.0	115.7	12.8	9.5	1.05	12.2	5.1
	CC 84-75	63	488.7	10.3	107.8	11.1	9.0	0.93	12.0	6.2
	CC 93-4418	9	85.4	11.3	137.4	15.5	10.7	1.20	12.9	1.8
	CC 93-3895	17	62.2	10.9	113.9	12.4	9.3	1.01	12.2	2.4
	CC 92-2804	8	37.7	11.6	130.8	15.1	10.2	1.18	12.8	2.5
	CC 93-3826	3	9.3	10.5	108.1	11.4	8.4	0.88	12.9	4.8
	CC 92-2198	3	9.1	10.6	127.0	13.4	10.9	1.15	11.6	4.8
			5549							
11H3 (8467.3 ha cosechadas)	CC 85-92	1195	6795.6	10.7	113.1	12.1	9.5	1.01	11.9	5.7
	CC 84-75	128	807.9	10.2	115.9	11.8	9.7	0.98	12.0	7.0
	CC 93-4418	20	159.8	10.0	130.9	13.1	10.7	1.07	12.3	1.4
	CC 93-3895	27	128.3	10.4	112.9	11.7	9.5	0.99	11.9	4.4
	CC 92-2804	14	73.8	11.1	127.7	14.2	10.6	1.17	12.1	2.7
	CC 93-3826	3	13.8	10.8	114.9	12.4	8.9	0.96	12.9	5.0
	CC 93-4181	3	13.6	11.1	105.9	11.7	8.4	0.93	12.6	2.0
			7993							
15H1 (3580.6 ha cosechadas)	CC 85-92	232	2571.8	11.4	119.5	13.6	10.0	1.14	12.0	5.4
	CC 84-75	36	426.8	10.8	120.7	13.1	10.3	1.11	11.8	7.4
	CC 93-3826	12	132.6	10.7	135.1	14.5	11.2	1.21	12.0	1.8
	CC 92-2198	7	69.2	10.9	142.6	15.6	11.4	1.25	12.5	2.4
	CC 93-3895	6	33.8	8.7	115.0	10.0	9.8	0.86	11.7	2.5
	CC 92-2804	7	30.1	12.0	124.7	15.0	10.6	1.27	11.9	3.5
	CC 93-4181	3	24.9	11.9	127.6	15.1	10.4	1.24	12.3	2.0
	CC 93-4418	2	10.0	11.0	142.0	15.7	11.5	1.28	12.3	1.0
			3299							
18H1 (2339.1 ha cosechadas)	CC 85-92	222	1727.8	11.1	118.6	13.1	9.7	1.08	12.3	6.1
	CC 84-75	23	195.4	10.2	126.5	12.9	10.2	1.05	12.4	6.5
	CC 93-4418	4	50.5	10.4	148.9	15.5	11.3	1.18	13.2	1.1
	CC 93-3895	4	30.9	11.7	124.1	14.5	10.2	1.19	12.2	3.8
	CC 92-2198	4	30.3	10.8	152.1	16.4	11.3	1.24	13.6	1.8
	CC 93-3826	2	20.9	10.3	160.5	16.6	12.8	1.32	12.5	1.0
	CC 92-2804	4	10.7	11.2	133.4	15.0	11.6	1.31	11.5	3.0
	CC 93-4181	2	4.5	12.3	134.0	16.4	10.5	1.29	12.8	1.5
			2071							
Desviación estándar				0.9	20.4	2.3	1.6	0.178	0.8	1.5

En todas las zonas se consiguieron resultados de productividad superiores con variedades distintas a la CC 85-92 y la CC 84-75. Las variedades que se destacaron con mayor frecuencia fueron CC 92-2804, CC 93-4418, CC 93-4181, CC 93-3895, CC 93-3826 y CC 92-2198.

Para complementar la información acerca de las variedades se presentan los resultados mediante curvas de isomargen donde se muestra el índice de margen operacional (IMO) (Figura 7). El 100% del IMO se refiere al promedio de la utilidad operacional de todas las suertes cosechadas por la industria con el supuesto de que todas corresponden a tierras propias de los ingenios; fue calculado con base en el precio ponderado del azúcar (promedio del sector a diciembre de 2010). Los costos de campo no incluyen el costo de la tierra; corresponden a los costos directos de adecuación, preparación, siembra y levantamiento del cultivo.

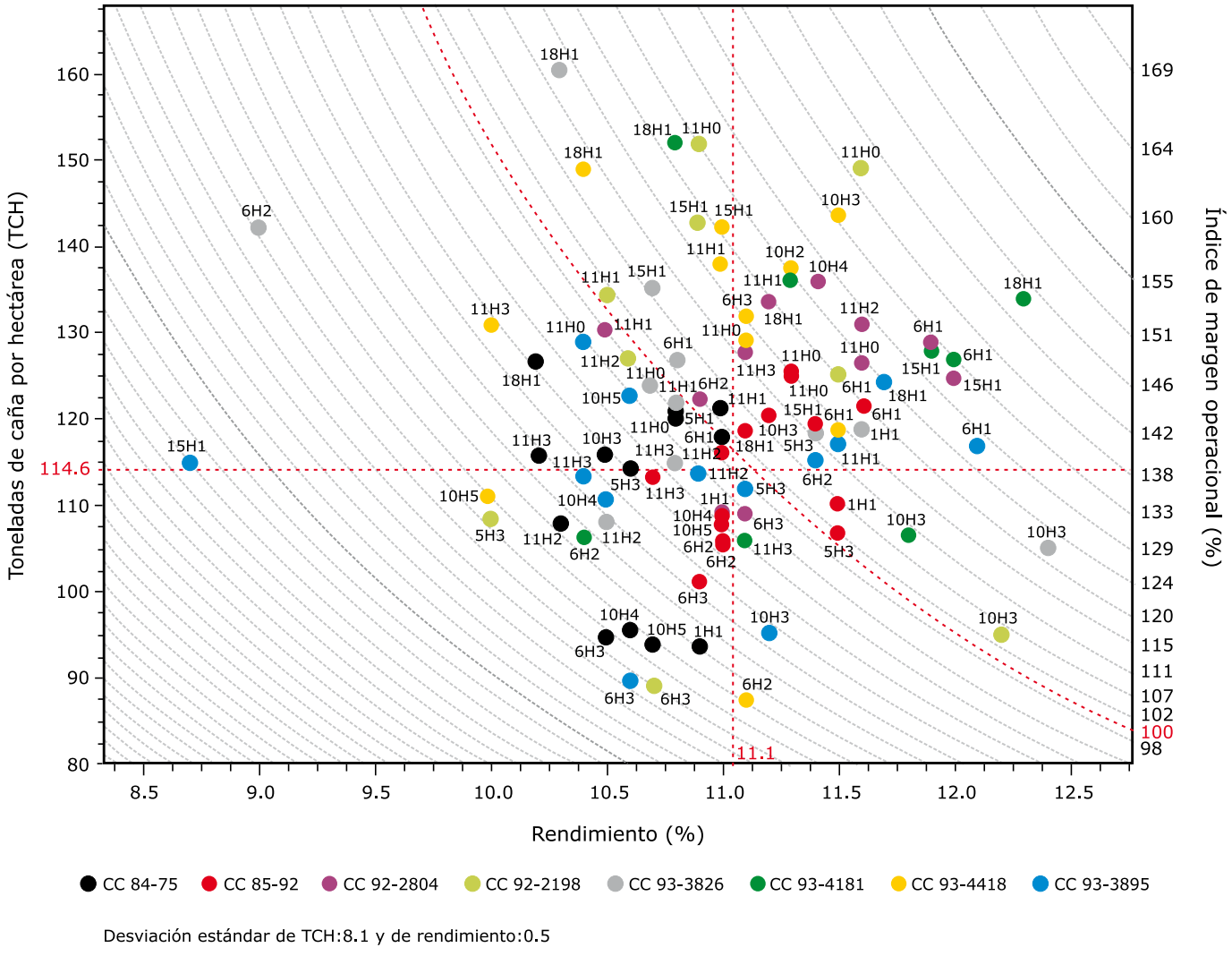


Figura 7. Curvas de isomargen de las variedades cosechadas en las principales zonas agroecológicas, 2010. Datos de doce ingenios.

Los valores más altos del IMO se consiguieron en las zonas 18H1, 11H0, 10H3, 6H1 y 15H1 con las variedades CC 93-4181, CC 93-4418, CC 92-2198, CC 92-2804 y CC 93-3826. Estos valores están asociados en la mayoría de los casos con zonas secas y de alta fertilidad. Los valores más bajos del IMO se presentaron en las zonas 15H1, 10H5, 6H3 y 10H4 con las variedades CC 84-75, CC 93-4418, CC 93-3826 y CC 93-3895. Estas zonas de bajos valores de IMO corresponden a zonas húmedas. En el 63% del área de los casos reportados en la Figura 7 se consiguió un IMO superior al promedio de la industria.

Observaciones en fábrica

La molienda registró un descenso de 3'345,828 t en 2010 con respecto al año anterior y la producción de azúcar (que incluye el azúcar crudo equivalente de los jugos y mieles destinados a la producción de etanol) presentó una reducción de 541,476 t. Mientras que en agosto, septiembre y octubre la producción de azúcar estuvo cercana a las 225,000 t/mes, en noviembre y diciembre no superó las 139,000 t/mes (Figura 8). De mismo modo se registró un descenso de 37,903 m^3 en la producción de etanol anhidro, con las mayores producciones en el primer trimestre y en el tercero.

El promedio anual de sacarosa (% caña) disminuyó en 0.70 unidades porcentuales. Durante el primer trimestre de 2010 predominó el tiempo seco debido al fenómeno de "El Niño" y la sacarosa (% caña) fue sensiblemente superior; en adelante los valores siempre fueron inferiores, especialmente en los cuatro últimos meses cuando se observaron diferencias superiores a 1.5 unidades porcentuales en comparación con el mismo período del año anterior. El rendimiento real siguió la tendencia observada en la sacarosa (% caña) (Figura 9).

Con respecto a la fibra industrial (% caña), el valor medio anual fue muy similar al del año anterior aunque se presentaron diferencias en el análisis por trimestre (Figura 10). En el primer trimestre de 2010 la fibra fue inferior a los valores reportados en 2009, mientras que en el último trimestre fue notablemente superior, lo cual se explica en parte por el incremento de sólidos insolubles cuantificados en el jugo diluido y que hacen parte de la fibra industrial. En el último trimestre de 2010 el promedio de sólidos insolubles fue de 1.77% (1.17% en el mismo periodo del año anterior) como consecuencia del mayor contenido de material mineral presente en la caña por efecto de las condiciones húmedas predominantes durante la cosecha.

La extracción directa, que mide la eficiencia en la recuperación de sacarosa en los molinos, aumentó en 0.15 unidades porcentuales y alcanzó un valor de 95.81% en 2010, lo cual se atribuye principalmente a las mejoras en los sistemas de preparación de caña de dos ingenios. La mayor extracción de sacarosa en los molinos se reflejó en la disminución de las pérdidas de sacarosa en bagazo que fueron inferiores en 0.2 unidades en comparación con el valor reportado en 2009 (Figura 10).

En la miel final, las pérdidas de sacarosa (% sacarosa caña) se incrementaron en 0.44 unidades, resultado que se encuentra asociado con la disminución de pureza en el jugo diluido, caída de 0.58 unidades porcentuales que representa un mayor contenido de compuestos no-sacarosa en el proceso fabril (Figura 11).

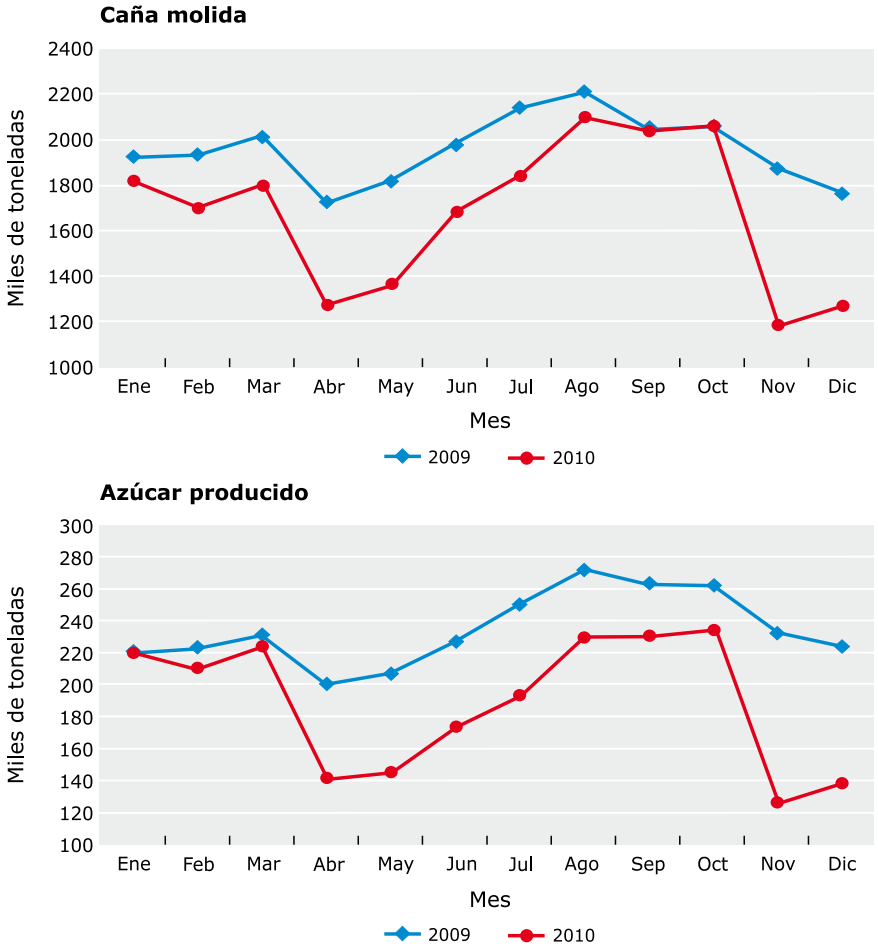


Figura 8. Toneladas de caña molida y de azúcar producido en la agroindustria azucarera colombiana en 2009 y 2010. Datos de trece ingenios.

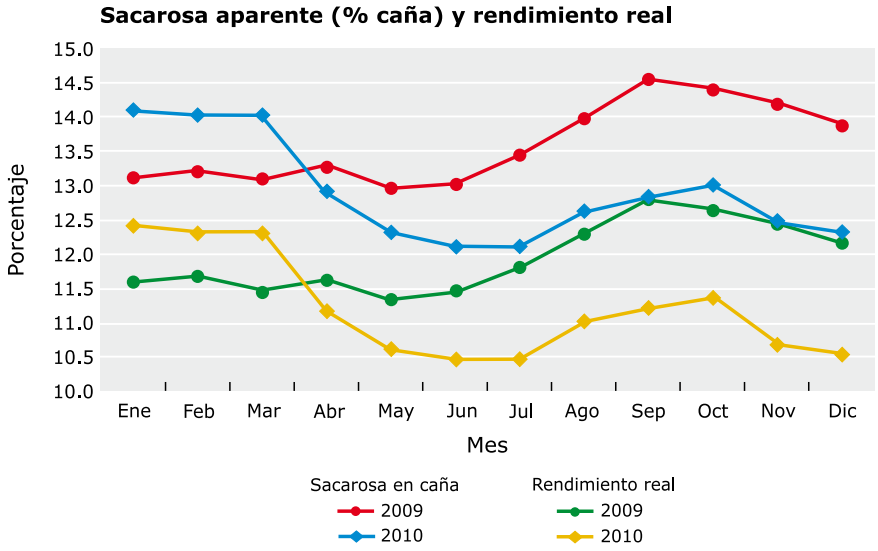


Figura 9. Sacarosa aparente (% caña) y rendimiento real en azúcar (99.7° Pol, %) en la agroindustria azucarera colombiana en 2009 y 2010. Datos de doce ingenios.

Las pérdidas de sacarosa en cachaza también se incrementaron durante 2010 y estuvieron relacionadas con el aumento del contenido de impurezas presentes en la caña que llegó a las fábricas. La disminución en la tasa diaria de molienda, así como el incremento en los tiempos perdidos por paros no programados asociados a la cosecha, incrementaron los tiempos de residencia de los materiales en las fábricas. El incremento en el tiempo de residencia está asociado con el aumento de las denominadas pérdidas indeterminadas (expresadas en % sacarosa caña) que pasaron de 1.28% a 1.62%. Finalmente, la eficiencia en recuperación de sacarosa (kg de sacarosa recuperados por cada 100 kg de sacarosa en caña) disminuyó de 88.14 kg en 2009 a 87.57 kg en 2010.

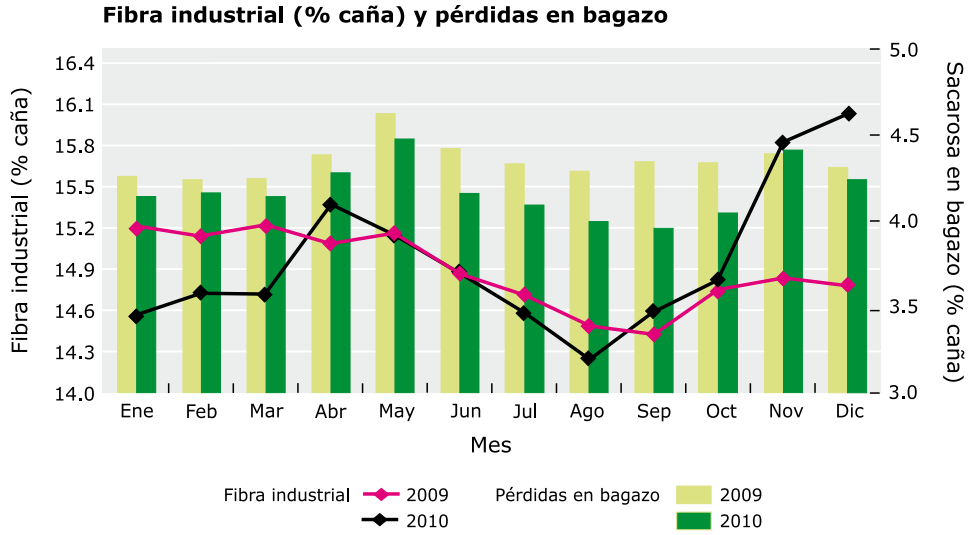


Figura 10. Fibra (% caña) y pérdidas de sacarosa en bagazo (% caña) en la agroindustria azucarera colombiana en 2009 y 2010. Datos de doce ingenios.

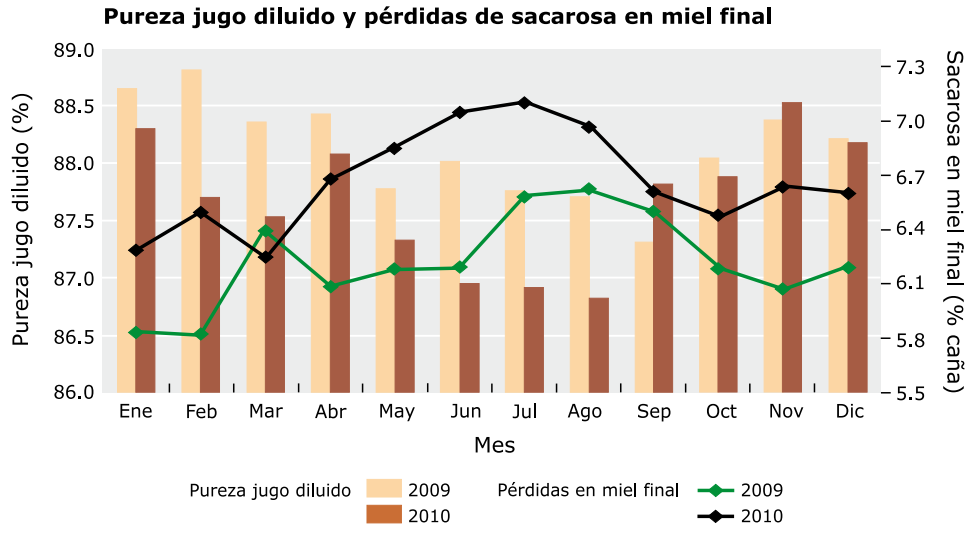


Figura 11. Pureza del jugo diluido (% caña) y pérdidas de sacarosa en miel final (% caña) en la agroindustria azucarera colombiana en 2009 y 2010. Datos de doce ingenios.

T6
CC 85-92

Validación de paquetes tecnológicos AEPS con productores de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT).

Ingenio Pichichí, zona agroecológica 6H1, suelo Corintias (CT), Typic Haplusterts.
Variedad AEPS: CC 93-4418.

Agricultura específica por sitio (AEPS)

La agricultura específica por sitio se define 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.

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación
Colciencias

Libertad y Orden

República de Colombia

Colciencias ha apoyado en la última década las iniciativas propuestas por Cenicaña para el fortalecimiento de la capacidad de adopción de prácticas sostenibles en las unidades productivas azucareras, a través de la cofinanciación y evaluación de cuatro fases del proyecto Agricultura Específica por Sitio (AEPS).

De acuerdo con los productos esperados en cada fase del proyecto se ha progresado significativamente en la organización de bases de datos de interés estratégico en la toma de decisiones científicas, técnicas y de producción, así como en el desarrollo de servicios de información y transferencia de tecnología que facilitan la gestión de conocimiento en el sector azucarero.

En esta década, a través del proyecto AEPS y otros congruentes con los objetivos propuestos, el sector azucarero ha actualizado la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, con base en el estudio detallado de los suelos y el conocimiento acerca de las condiciones de humedad que, en conjunto, definen las características representativas de cada sitio de cultivo.

Buena parte del conocimiento generado en el estudio detallado de suelos y en las agrupaciones conformadas se encuentra ordenado en bases de datos que dan soporte al Sistema de Información AEPS disponible en web. Este sistema incluye el servicio de mapas interactivos que ofrece a los productores azucareros información geográfica asociada con sus predios, de un modo eficiente y práctico.

A medida que el proyecto ha avanzado, los beneficios del mismo se han visto expresados en la adopción del enfoque AEPS en los programas de investigación de variedades y agronomía, la incursión y el progreso en campos nuevos para Cenicaña como la geomática con énfasis en percepción remota y, principalmente, la apropiación del concepto AEPS por parte de los productores.

Los resultados en 2010 se presentan en las páginas siguientes y hacen parte de los objetivos propuestos en la cuarta fase del proyecto, entre ellos la validación de paquetes tecnológicos con enfoque AEPS con la participación de los productores de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (ver página 130).

Validación de paquetes tecnológicos con enfoque AEPS por suerte de caña según la heterogeneidad de los suelos presentes

En función del objetivo descrito, en 2009 se sembraron los experimentos en tres pares de suertes donde coinciden las zonas agroecológicas con productividad contrastante 11H1 y 15H1 (primer par), 11H1 y 6H1 (segundo par) y 10H3 y 14H1 (tercer par). En cada suerte se evalúan dos tratamientos en cuatro repeticiones: tratamiento diferenciado por zona agroecológica o de AEPS y tratamiento homogéneo o convencional aplicado en las dos zonas agroecológicas.

En 2010 se hicieron las cosechas en cuatro suertes (plantilla) con influencia en las cinco zonas agroecológicas. El único par que se cosechó completo correspondió al de las zonas 11H1 y 6H1.

Los resultados generales hasta el momento señalan ventajas en productividad y rentabilidad con el manejo diferenciado por zona agroecológica, respecto al manejo homogéneo o convencional. En los tratamientos de manejo diferenciado los costos por tonelada de caña fueron más bajos y el rendimiento en azúcar fue superior.

En la suerte con influencia de las zonas 10H3 y 14H1 (Peralonso 121) se detectaron diferencias estadísticas significativas en los ingresos netos por tonelada de caña y azúcar entre tratamientos, con los mejores resultados a favor del tratamiento diferenciado de AEPS. Las mayores diferencias en productividad entre tratamientos se observaron en la zona 14H1, donde se registraron hasta 14 TCH más y dos puntos adicionales de rendimiento en azúcar con el manejo diferenciado.

Diagnóstico de las causas de la variabilidad de la producción intrasuerte

De acuerdo con lo previsto, en los mismos sitios donde se lleva a cabo la validación de paquetes tecnológicos con enfoque AEPS se continuó esta investigación que tiene por objetivo 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.

Las mediciones sistemáticas de las variables de diagnóstico se realizan en puntos distanciados por una cuadricula de 25 m x 25 m superpuesta a la cartografía básica de cada suerte; los mismos puntos donde se hicieron las primeras mediciones, al comienzo de la experimentación. Además, en cada sitio experimental se cuenta con una red de seis pozos de observación que se revisan continuamente para el seguimiento del nivel freático y el registro de los datos requeridos en los mapas de isobatas e isohipsas.

En 2010, en las cuatro suertes cosechadas (plantilla) se evaluaron, además de las variables de diagnóstico, las variables de respuesta, con énfasis en la variabilidad de los datos registrados como indicadores de desarrollo del cultivo (altura de tallos, diámetro y población) y productividad (sacarosa % caña y TCH).

Manejo diferenciado AEPS según los suelos presentes en la suerte.
Riopaila, zona 14H1, suelo Canelo (CL), Fluvaquentic Endoaquepts.
Variedad AEPS: CC 93-3826.

Para el análisis de las causas de la variabilidad de la productividad intrasuerte, los datos distribuidos en forma de cuadricula se correlacionaron con los datos ordenados en redes neuronales artificiales y por regresión lineal múltiple entre las variables de diagnóstico y las variables de respuesta se llegó a las conclusiones preliminares que se presentan a continuación (Figura 12):

- Suelos con contenido de arcillas >60%, relación Ca+Mg/K superior a 75 y presencia de sodio, estuvieron asociados con menor productividad.
- Suelos con densidad aparente entre 0.9-1.1 g/cm^3, porosidad total entre 50-60% y contenidos de elementos menores: boro (B: 0.20-0.31 ppm), hierro (Fe: 3.0-5.9 ppm), cobre (Cu: 1.1-1.4 ppm) y manganeso (Mn: 89-105 ppm), estuvieron asociados con mayor productividad.
- La variabilidad de la producción intrasuerte estuvo ligada sobre todo al balance entre cationes (relación Ca+Mg/K) y a la disponibilidad de elementos menores. Se debe mejorar el balance nutricional del suelo.
- Con la fertilización se mejoró la disponibilidad de los elementos mayores: nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K).
- Los elementos menores B, Fe, Cu y Mn fueron las variables de mayor influencia en la variabilidad de la producción intrasuerte.

Durante el período de observación, en los sitios experimentales el nivel freático se mantuvo a más de 1.2 m y el tiempo meteorológico estuvo influido por el fenómeno de “El Niño”.

El diagnóstico acerca de las causas de la variación de la productividad intrasuerte puede cambiar en condiciones “Niña”, cuando el exceso de humedad en el suelo puede llegar a limitar la presencia de oxígeno que facilita la función de las raíces.

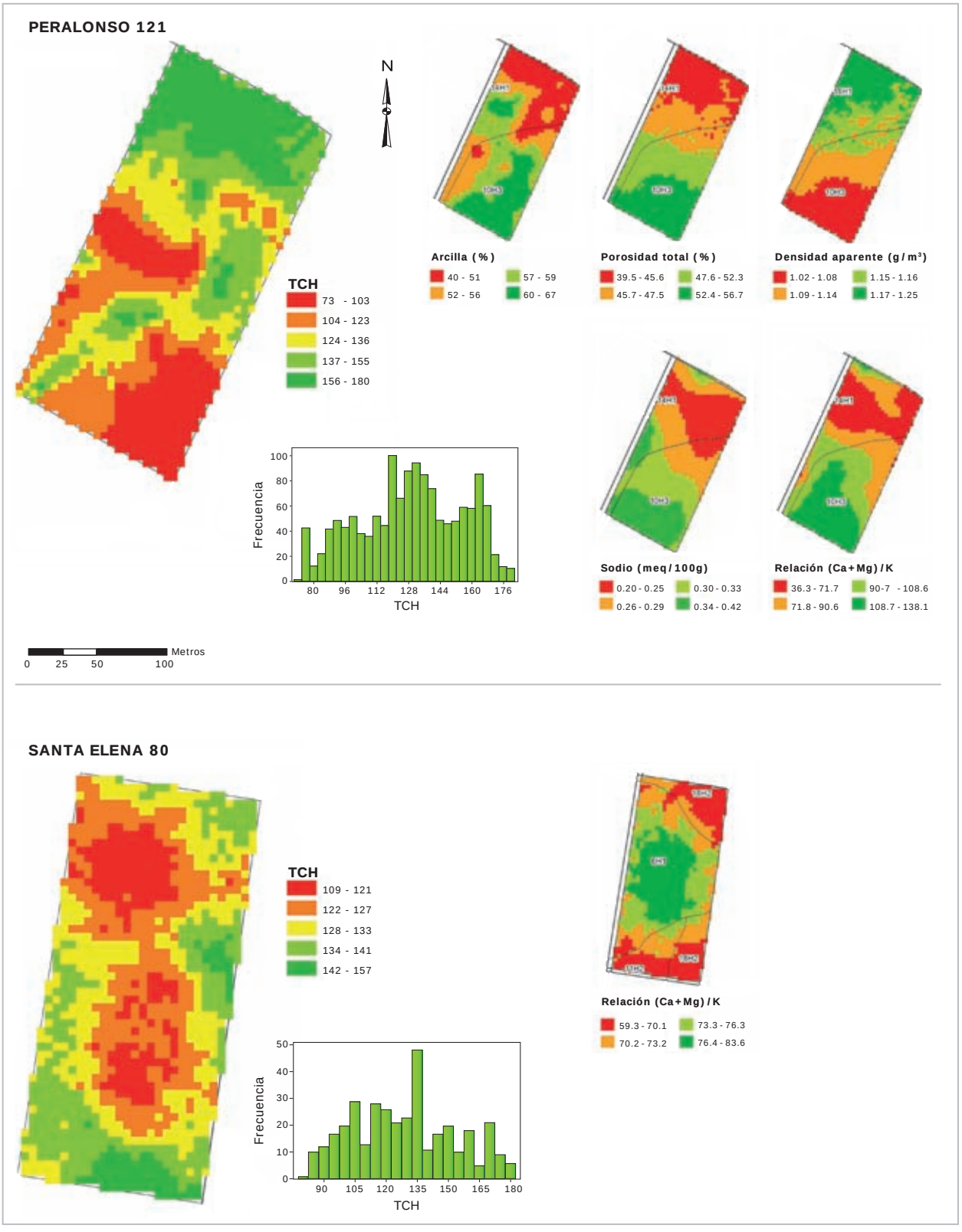


Figura 12. Variables del suelo asociadas con factores limitantes y reductores de la productividad intrasuerte en dos sitios experimentales.

Desarrollo de una metodología para el seguimiento de la ubicación de las variedades de caña de azúcar en las zonas agroecológicas

El aporque, una labor que se realiza en las suertes de alta productividad.

Para conseguir el producto esperado de la presente investigación, se ha seguido un proceso exploratorio de recolección y análisis de datos e información, a partir del cual se han identificado las condiciones comunes asociadas con el manejo agronómico que conllevan productividades bajas o altas en suertes que pertenecen a una misma zona agroecológica. El propósito es identificar los factores principales de manejo agronómico que influyen en los indicadores de productividad en una zona determinada y las asociaciones a que haya lugar con respecto a las variedades de caña de azúcar sembradas en esa zona.

Así, con base en los datos disponibles acerca de las suertes comerciales cosechadas entre 2002 y 2009 en las zonas agroecológicas 6H1 y 11H1, las dos zonas de mayor influencia en caña en el valle del río Cauca (alrededor del 16% y el 12% del área, respectivamente), se analizó la variabilidad de la productividad intrazona y se identificaron 49 suertes donde los tonelajes históricos han sido contrastantes en la comparación de medias: suertes de productividad baja (≤100 TCH) y suertes de productividad alta (≥140 TCH).

En entrevistas con los productores de caña se indagó acerca de las condiciones agronómicas de las suertes y las prácticas de manejo aplicadas al cultivo. Mediante el análisis estadístico descriptivo y de correspondencia múltiple por zona agroecológica se identificaron las diferencias de manejo agronómico entre suertes de la misma zona agroecológica y las variables asociadas con las suertes de productividad baja y las suertes de productividad alta (Cuadro 7).

Con base en este análisis y para validar los resultados encontrados se definieron las características deseables de los sitios experimentales y los tratamientos por evaluar. El objetivo de la experimentación es conocer el modo en que las

variedades de caña de azúcar influyen en los resultados de productividad de una zona agroecológica y la importancia relativa de los factores de manejo agronómico asociados con los resultados según la variedad y la zona.

En 2010, en el Ingenio Manuelita se sembraron los experimentos en una suerte de la zona agroecológica 6H1 y en otra de la zona 11H1. Las parcelas incluyen seis tratamientos con cuatro repeticiones en un diseño de bloques completamente al azar. Los tratamientos en experimentación corresponden a las combinaciones de variedad recomendada-no recomendada y manejo de alta-baja productividad, que se comparan con los testigos respectivos de manejo en parcelas con CC 85-92.

La selección de las variedades (recomendadas y no recomendadas) se hizo con base en el análisis de los datos comerciales de las variedades cosechadas en cada zona agroecológica. Para la experimentación en la zona 6H1 se recomendó la variedad CC 93-4181 y para la zona 11H1, la variedad CC 93-4418; las variedades no recomendadas fueron V 71-51 y CC 84-75. Los criterios para la definición de los tratamientos de manejo (alta productividad y baja productividad) se basan principalmente en los resultados del análisis de correspondencia múltiple (Cuadro 7), con los ajustes requeridos según las condiciones de desarrollo de los experimentos.

Cuadro 7. Resultados del análisis de correspondencia múltiple acerca de las condiciones de manejo agronómico reportadas por productores de caña en suertes de productividad contrastante, ubicadas en las zonas agroecológicas 6H1 y 11H1.

Condición de manejo agronómico	Suertes de productividad baja	Suertes de productividad alta
Dificultades de riego*	Si	No
Dificultades de drenaje*	Si	No
Problemas de suelo*	Si	No
Nivelación de tierras	80% de suertes sin nivelación	Todas las suertes con nivelación
Labor de aporque	60% de suertes sin aporque	81% de suertes con aporque
Control de barrenadores *Diatraea* spp.	90% de suertes sin control	55% de suertes con control
Edad de semilleros (fuente para siembra)	9 – 10 meses	7 – 7.5 meses
Número de corte de semilleros	Tercero - cuarto corte	Primero – segundo corte
Fuente de agua predominante para riego	90% de suertes con fuentes superficiales	91% de suertes con fuentes subterráneas (pozo profundo) y 82% de suertes con fuentes subterráneas y fuentes superficiales
Control de malezas	100% de suertes con control en postemergencia tardía	54.5% de suertes con control en preemergencia y 100% con control en postemergencia temprana
Fertilización	90% de suertes fertilizadas de acuerdo con el criterio del productor	100% de suertes fertilizadas de acuerdo con el análisis de suelo

* - Dificultades en el riego de la suerte por daño de motobomba o implementos de riego, disminución o agotamiento del caudal disponible.
- Dificultades en el drenaje de la suerte por encharcamientos y nivel freático alto.
- Problemas de suelo por calcio-magnesio invertido, sodio, arenas y sales.

Desarrollo de una Matriz de Recomendaciones Tecnológicas (MRT) para la agricultura específica por sitio

Como un producto esperado del proyecto de agricultura específica por sitio, durante 2010 se trabajó en el análisis y el desarrollo de la MRT por zona agroecológica, una herramienta del Sistema de Información AEPS en web que integra recursos multimedia para facilitar la consulta de las recomendaciones tecnológicas de manejo agronómico específicas por suerte de caña.

El diseño de la información y la estructura arquitectónica de los contenidos se basa en la caracterización de las zonas agroecológicas identificadas para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación) y en los criterios y parámetros que sustentan las decisiones de manejo agronómico según las condiciones propias del sistema productivo y el estado de desarrollo del cultivo.

La matriz tecnológica incluye recomendaciones sobre diseño de campo, adecuación y preparación de tierras, variedades de caña y semilleros, labores culturales de siembra y resiembra, manejo de aguas, labores mecánicas, fertilización, cosecha, manejo de residuos y sanidad vegetal.

Las recomendaciones hacen referencia a los aspectos técnicos, ambientales y de control de calidad de las labores, con especificaciones de verificación antes de realizar la labor, durante su ejecución y después de ella. Los contenidos técnicos que dan soporte a las recomendaciones sobre variedades de caña de azúcar, uso de tecnologías, prácticas, dosis e insumos, equipos y maquinaria, entre otros aspectos, corresponden a fuentes documentales de investigaciones agronómicas, talleres con grupos de expertos, artículos diversos, memorias de eventos y análisis estadístico de datos e información, principalmente.

En esta primera etapa de desarrollo de la MRT se han usado como insumos principales de información el informe final del proyecto AEPS, tercera fase (Isaacs *et al*., 2008) y la Guía para el control de calidad de las labores del cultivo de la caña de azúcar (Ingenio Risaralda, 2006).

De modo progresivo y en coordinación con los especialistas en cada área temática se ha ido conformando el mapa mental del sistema, se ha avanzado en el diseño de la información y en la compilación de los documentos disponibles, la obtención de faltantes y el diseño de las interfaces de los usuarios (administrador y cliente).

La MRT está siendo desarrollada para consulta en línea a través de páginas web con enlaces a recursos multimedia funcionales en dispositivos portátiles y equipos de telefonía móvil. La adopción de esta perspectiva contribuye a fortalecer las capacidades institucionales para ofrecer a los agricultores la información necesaria y en el momento oportuno acerca de las mejores prácticas de AEPS que favorecen el desarrollo sostenible de las tierras en cultivo.

El progreso de la agroindustria azucarera colombiana basado en la adopción de la AEPS como estrategia de desarrollo sostenible constituye un reto viable que aún demanda esfuerzos importantes en la organización de las bases de datos de investigación y documentación técnica (ver páginas 131 y 141), la disponibilidad y el acceso a la información de modo práctico y sencillo, la conectividad de los usuarios y, en general, demanda esfuerzos de transferencia de tecnología orientados a la motivación de los agricultores en relación con la comunicación técnica, el intercambio social de experiencias y la construcción colectiva de conocimiento para el manejo sostenible del cultivo.

La MRT se proyecta como un recurso interactivo y multimedia de comunicación técnica de apoyo para la transferencia de tecnología, el aprendizaje continuo, la toma de decisiones de cambio varietal y manejo agronómico de la caña de azúcar y el control de calidad de las labores en sitios específicos.

Los servicios de información de la MRT se irán publicando de acuerdo con los procedimientos definidos por Cenicaña, entre los cuales se cuentan las pruebas de usuario y las actualizaciones prioritarias por cambios ventajosos en la tecnología informática y de comunicaciones disponible (Figura 13).

Figura 13. Avances de la Matriz de Recomendaciones Tecnológicas (MRT) con enfoque AEPS.

IGRO
ICULO
LARGO
1109488
1109488

Evaluación de un vagón de transporte de caña, prototipo de descarga lateral.

Corte de caña, alce, transporte y entrega de la materia prima a la fábrica (CATE)

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.

Las áreas de investigación y desarrollo tecnológico para el logro del objetivo propuesto son: Cosecha, campo y cosecha, transporte y recepción de caña, y logística del sistema.

Los proyectos respectivos se llevan a cabo con la cooperación de profesionales y técnicos de campo, cosecha y fábrica de los ingenios azucareros, expertos académicos de universidades locales y representantes de empresas fabricantes de maquinaria y equipos en Colombia. La coordinación general está a cargo del Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología, con el apoyo de los programas de investigación de variedades, agronomía y procesos de fábrica.

En 2010 continuaron las investigaciones sobre identificación de los impactos causados por los equipos de cosecha en la compactación del suelo. Según lo previsto se recibieron los vagones prototipo de trasporte de descarga alta y descarga lateral y se iniciaron las evaluaciones respectivas. Finalmente, se realizó un análisis de simulación del sistema de alce continuo.

Campo y cosecha

Los objetivos específicos en campo y cosecha son mejorar las condiciones de campo y las operaciones de los sistemas de cosecha con el fin de contribuir a la eficiencia del sistema CATE.

Identificación de los impactos de los equipos de cosecha en la compactación del suelo

Como lo muestran los resultados a continuación, son muchos los factores que inciden negativamente en el suelo y el cultivo durante la cosecha; para conocer los efectos y controlarlos es necesario relacionar pesos y dimensiones de equipos, diseño de campo, sistemas de cosecha y condiciones de suelo.

Los efectos del tránsito de equipos sobre áreas cultivadas se miden regularmente a través de la variación en las propiedades físicas del suelo, daños sobre el cultivo y factores que cuantifican la intensidad de tráfico (IT). La IT relaciona las

cargas, los recorridos y las áreas; se determina para cada equipo como el producto o la sumatoria de productos (peso*distancia) ponderados sobre el área afectada por el tráfico. Mediciones realizadas en los ingenios Incauca, Manuelita y Riopaila Castilla han permitido determinar la IT y los efectos asociados sobre el suelo y el cultivo.

En la Figura 14 se muestra la IT causada por los equipos en una cosecha mecánica, incluidos los efectos del tractor, la cosechadora y los vagones HD20000, HD12000 y de autovolteo. El peso de los vagones y su capacidad son los factores determinantes de la IT. Los vagones de autovolteo, con peso propio de 5.4 t y capacidad de carga hasta de 9.5 t generan IT de 58 t*km/ha, mientras el vagón HD20000 con peso bruto hasta de 33 t causa IT de 141 t*km/ha. El tractor y la cosechadora generan IT iguales en los tres sistemas de cosecha (87 y 126 t*km/ha). La intensidad total de tráfico para cada conjunto vagón-tractor-cosechadora se magnifica en la cosecha mecánica por el doble pase de los equipos sobre cada surco y alcanza valores altos, hasta 350 t*km/ha para el sistema con vagón HD20000. En cosecha semimecánica la IT es menor porque en un solo pase de los equipos se alza la producción de un área mayor; para un conjunto tractor-alzadora-tren de tres vagones HD20000 la IT llegó a 105 t*km/ha, indicador de efectos sobre el campo de menor magnitud.

Otro de los efectos del tráfico durante la cosecha es el pisoteo o tránsito directo sobre las cepas de caña, que puede conllevar pérdidas en producción de mayor magnitud que la compactación. El pisoteo en las cabeceras de los lotes se debe principalmente a la longitud de los equipos y a factores relacionados con el diseño de campo, como el ancho de los callejones y, finalmente, a la forma y cuidados en la operación. En una cosecha mecánica, con callejones de 8 metros en ambos extremos del lote se midieron longitudes de surco pisadas en las cabeceras hasta de 14.4 m con el vagón HD20000, 14.2 m con el HD12000 y 8.3 m con el vagón de autovolteo. Esta es otra razón fundamental en la recomendación de uso de vagones de menor tamaño y capacidad que faciliten el giro del conjunto tractor-vagón en las cabeceras de los lotes. En eventos de cosecha con trenes de vagones, el pisoteo en las cabeceras llegó hasta los 32 m por surco.

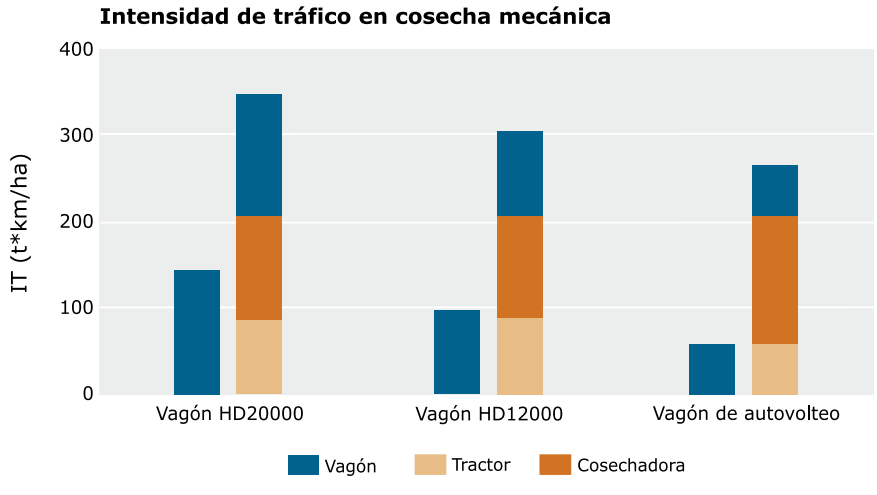


Figura 14. Intensidad de tráfico medida en una cosecha mecánica.

En relación con el pisoteo a lo largo del surco, que también se presenta, el efecto es originado principalmente por la diferencia entre la trocha de los equipos y la distancia entre surcos; también influyen la

sección de las llantas y en menor grado, el ancho de la cepa. Expresado como porcentaje del ancho promedio de la cepa y en cultivos a 1.75 m entre surcos se registró pisoteo hasta del 14.5% con el vagón Caucaseco que tiene trochas diferentes adelante (1.52 m) y atrás (2.20 m); el pisoteo causado por los vagones HD12000 y HD20000 fue inferior al 3%. Además, el tractor con llantas de sección igual a 710 mm causó pisoteo del 5%. En cultivos a 1.65 m entre surcos se incrementó el pisoteo especialmente con los vagones HD12000 y HD20000 (hasta 10% y 23% respectivamente).

La intensidad de tráfico durante la cosecha se refleja también en la compactación causada, la cual depende de las cargas, el número de pases y la condición del suelo. En la Figura 15A se muestra la resistencia del suelo a la penetración medida durante una cosecha semimecánica (caña quemada, suelo Corintias de familia textural fina, contenido de humedad 23%) con trenes de cinco vagones Caucaseco y tres vagones HD12000 ó HD20000. El mayor número de pases de ejes con el tren de vagones Caucaseco causó mayor efecto. Estas mediciones realizadas en época seca dejaron ver que a causa del bajo contenido de humedad y la alta cohesión entre partículas el suelo mostraba niveles altos de compactación antes de la cosecha; la resistencia del suelo era suficiente para soportar los esfuerzos generados por el tráfico de cargas sin deformación apreciable en la superficie.

En las mediciones durante una cosecha mecánica (caña verde, suelo Corintias de familia textural fina, humedad 29.3%) (Figura 15B) se observó que la resistencia a la penetración fue moderada tanto en la condición previa como cuando pasó la cosecha. El efecto amortiguador de los residuos de la cosecha en verde favoreció al suelo contra el efecto compactador del tránsito de los equipos. A mayor contenido de humedad, los esfuerzos causados por los equipos son menores en magnitud

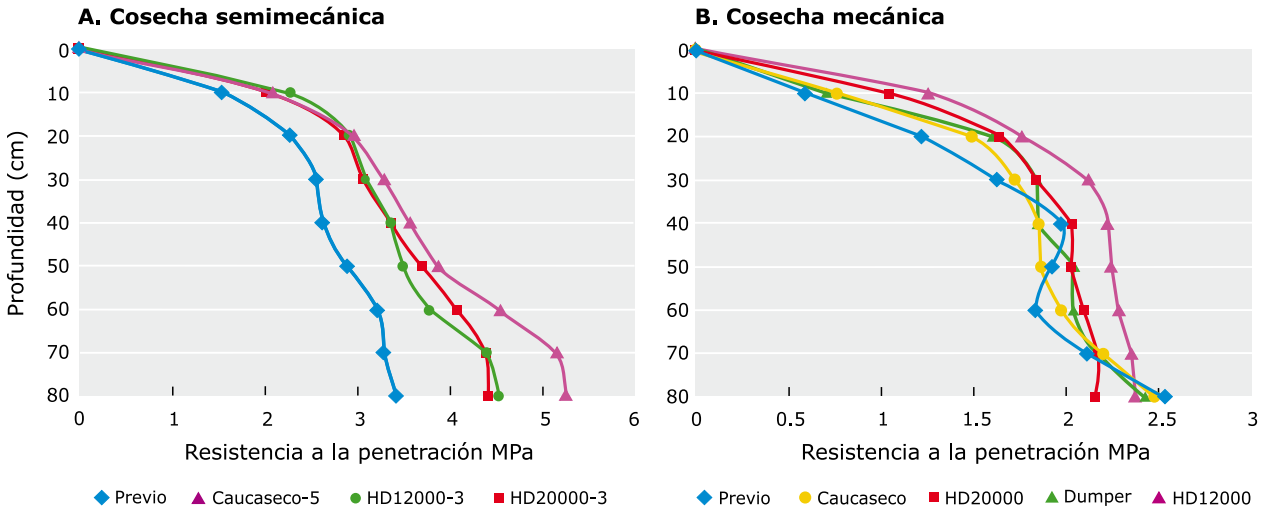


Figura 15. Resistencia a la penetración medida en cosechas comerciales de caña de azúcar.

debido a la capacidad de deformación que adquiere el suelo por el aumento en su plasticidad y a la acción lubricante del agua pero, a la vez, los esfuerzos son más profundos.

Las evaluaciones continúan para determinar el impacto del tráfico de los equipos en la productividad.

Transporte y recepción de caña

Como parte de la estrategia para mejorar los estándares tecnológicos y la eficiencia del sistema de abastecimiento de caña, continuaron las actividades de validación del modelo de simulación logística y se iniciaron las pruebas de campo con los vagones prototipo de transporte que fueron recibidos este año de parte de las firmas constructoras; los nuevos vagones poseen un diseño estructural documentado y se caracterizan por ser relativamente livianos.

Modelo de simulación logística del sistema CATE

En siete ingenios se completaron los análisis de la logística del sistema CATE utilizando el modelo de simulación discreta y redes de Petri desarrollado para tal fin (Cenicaña, 2010). Para cada escenario evaluado en cada ingenio se identificó la capacidad volumétrica óptima de un vagón de transporte de caña, con la cual se consigue reducir al mínimo el costo de la operación del sistema CATE.

De acuerdo con los resultados de las simulaciones, para un ingenio con molienda diaria superior a 10 mil toneladas se calculó una capacidad óptima de 24 toneladas (60 m^3) por vagón y para un ingenio con molienda diaria entre 5 mil y 8 mil toneladas, entre 12-15 toneladas (30-37 m^3) por vagón. Se estimó que la disminución en costos de CATE por el uso de vagones con las capacidades óptimas puede alcanzar valores hasta de 6%. La capacidad volumétrica del vagón se define en función de las características especificas de cosecha de cada ingenio, en donde se analizan variables como: capacidad de molienda, características de operación y configuración de los frentes de cosecha, tiempos en los eventos de alce, en patio y en el traslado del vagón vacío y lleno, entre otras. Las condiciones establecidas en el marco legal aplicable al transporte de caña fueron mantenidas durante todas las simulaciones.

Diseño de vagones de mínimo peso, construcción y evaluación de prototipos

Según lo planeado, en 2010 se iniciaron las pruebas de campo de ocho vagones prototipo de descarga lateral y un vagón prototipo de descarga alta, cada uno con capacidad de transporte de 24 toneladas de caña.

Cenicaña desarrolló la ingeniería básica para los vagones y colaboró en la selección de las firmas fabricantes, el desarrollo de la ingeniería de detalle y la construcción de los prototipos, como se acordó con los ingenios piloto donde se realizan las pruebas.

Las evaluaciones de los distintos equipos comenzaron en diciembre. Las primeras observaciones señalan que para mejorar el funcionamiento de los prototipos fabricados con estructuras de bajo peso se puede requerir nuevos estándares en la operación de las estaciones de recepción de caña en las fábricas.

Vagones de descarga lateral

El diseño de la ingeniería de detalle y la construcción de cuatro prototipos de vagón de descarga lateral y su respectivo semirremolque fueron encargados a cuatro proponentes seleccionados por el equipo técnico interventor conformado por representantes de Cenicaña y los ingenios Incauca y Providencia.

De acuerdo con los requerimientos del proyecto los prototipos fueron construidos con capacidad para el transporte de 24 toneladas de caña. Los vagones pesan en promedio 8800 kg y los semirremolques, 8000 kg; con una densidad de carga de caña picada equivalente a 400 kg/m^3, la relación peso caña/peso acero es igual a 3.62 (Figura 16).

Si un tren de estas características, conformado con estos vagones, se compara con un supuesto tren cañero de vagones de 24 toneladas de capacidad con las mismas características de uso, peso y materiales que los vagones utilizados actualmente, entonces los nuevos equipos presentarían una reducción de 35% de peso muerto, lo cual representaría un ahorro de 19% en el consumo de combustible cuando el tren cañero se encuentre viajando vacío y un ahorro de 5% en el costo del transporte por tonelada de caña. En comparación con los vagones HD20000 actuales, la reducción de peso muerto sería de 24%, el ahorro en el consumo de combustible con el tren vacío de 13% y el ahorro en el costo de transporte por tonelada de caña de 16%, lo cual representa un ahorro hasta de 6% en los costos de CATE.

Vagones de descarga alta

Un vagón de descarga alta con capacidad de 24 toneladas y bajo peso estructural fue diseñado en un proyecto cooperativo entre Cenicaña y una empresa metalmecánica con sede en Bogotá, la misma que se encargó de construir el prototipo que tiene un peso propio de 9800 kg (Figura 17).

El uso de un tren cañero de estas características representa una reducción del peso muerto de 15% respecto al tren de vagones HD20000, 15.5% de ahorro en combustible por viaje del tren vacío y 8% de ahorro en el costo de transporte por tonelada de caña.

De igual manera, si compara con un supuesto tren cañero de vagones de 24 toneladas de capacidad con las características de uso, peso y materiales de los vagones utilizados actualmente, los nuevos equipos presentarían una reducción de 29% de peso muerto, lo cual representaría 15.6% de ahorro en el consumo de combustible por viaje sin carga y 4% de ahorro en el costo del transporte por tonelada de caña.

Figura 16. Aspecto exterior de cuatro vagones prototipo de descarga lateral con capacidad de 24 toneladas, construidos para evaluación. Proyecto CATE, 2010.

Figura 17. Aspecto exterior de un vagón prototipo de descarga alta con capacidad de 24 toneladas, construido para evaluación. Proyecto CATE, 2010.

Logística del sistema

Las actividades desarrolladas se orientaron a realizar una evaluación integral de la logística del sistema CATE para definir y seleccionar opciones tecnológicas que contribuyan a la adopción de mejores prácticas para el sistema de cosecha semimecanica.

Simulación del sistema de alce continuo de caña larga

El impacto de la baja densidad de carga de la caña larga cosechada manualmente en los costos de la operación de cosecha y transporte hace necesario evaluar nuevos sistemas de alce y trasbordo de caña, con el objetivo de aumentar la densidad de carga para el transporte. Por tal razón se buscan sistemas más eficientes y para ello se realizó una evaluación técnica y económica mediante simulación matemática de la operación de alce continuo para caña larga.

Este sistema de alce troza la caña y aumenta la densidad de carga de transporte entre 25-35% en relación con la de la caña larga. Además, puede contribuir a la estandarización de los equipos de transporte hacia la caña picada, optimizar la utilización de vagones de autovolteo para trasbordo de la caña a los vagones de transporte, facilitar la limpieza de la caña en seco en las fábricas y su utilización no desplazaría mano de obra.

Durante el 2010 se realizaron simulaciones del sistema de alce continuo para las condiciones de operación de cinco ingenios azucareros y se identificó que al utilizar estos equipos en el alce del 50% de la caña larga que cosechan estos ingenios y en función de la capacidad de molienda de los mismos, se pueden emplear vagones de autovolteo y trasbordar a vagones HD 12000 ó HD 20000 para el transporte y generar menores costos de operación del sistema CATE. Se estimó mediante la simulación que al realizar esta práctica se podrían obtener reducciones en el costo del CATE de hasta un 5%. Se proyecta disponer de una alzadora continua para evaluarla en las condiciones de operación de la cosecha en el valle del río Cauca.

Estación Experimental Cenicaña

LABCONCO
Class II
Type A2
Sash
Level

Laboratorio de Biotecnología.

Programa de Variedades

Misión: *Obtener variedades de caña de azúcar que expresen su potencial genético en ambientes definidos y con un manejo agronómico adecuado al enfoque de la agricultura específica por sitio, con el fin de mejorar la productividad y la rentabilidad de las tierras dedicadas al cultivo.*

Como resultado de la gestión en mejoramiento genético, en la última década (1999-2010) el número de variedades sembradas por la agroindustria se ha duplicado, según lo muestran los registros históricos del censo que Cenicaña actualiza cada año con los datos entregados por los ingenios azucareros.

En 2010 los ingenios reportaron once variedades principales sembradas en 200 mil hectáreas; ocho son variedades CC. Los cambios más representativos en área ocurrieron con las variedades CC 85-92 y CC 93-4418; la difusión de esta última aumentó en 2614 hectáreas, para comenzar el 2011 con una superficie total de 5179 hectáreas sembradas, el 2.4% del área disponible para el cultivo en el valle del río Cauca.

En este informe se presentan los avances principales de los experimentos de prueba regional cosechados en zonas agroecológicas secas-semisecas, donde sobresalen las variedades CC 01-678, CC 01-1228 y CC 97-7170 por los resultados en plantilla y primera soca. En las zonas húmedas sobresale CC 01-1940 (plantilla) y en el piedemonte, CC 91-1606 y SP 71-6949 (plantilla).

Las novedades principales en biotecnología agrícola se refieren al mapeo de QTL asociados con componentes de biomasa y sacarosa y al aislamiento y caracterización de genes asociados con tolerancia al estrés hídrico en caña de azúcar por déficit o exceso.

En cuanto a la sanidad de los cultivos, en julio de 2010 se encontró por primera vez en Colombia la enfermedad roya naranja en las variedades CC 01-1884 y CC 01-1305, las cuales fueron calificadas como susceptibles; las variedades estaban en proceso de experimentación y todas las cepas fueron erradicadas. En entomología continuaron las investigaciones para el manejo integral del salivazo con componentes de control biológico, uso de hongos y nematodos entomopatógenos y variedades de caña de azúcar resistentes a la plaga.

Mejoramiento genético de la caña de azúcar

Los procesos de investigación y mejoramiento genético de caña de azúcar que coordina Cenicaña se basan en la selección y el desarrollo de variedades con un enfoque aplicado de agricultura específica por sitio, de forma que se buscan variedades con características de adaptación en las zonas agroecológicas identificadas para el cultivo en Colombia.

En el valle del río Cauca, en el área de influencia del sector azucarero, donde se produce azúcar y etanol, el mejoramiento genético de la caña de azúcar se lleva a cabo en tres ambientes de selección caracterizados por las condiciones prevalentes de humedad en el suelo, la altitud y la pendiente topográfica. La agrupación de las zonas agroecológicas con estos criterios delimita el área de influencia del proceso de mejoramiento en cada ambiente y, de acuerdo con la zonificación, se tienen sitios experimentales de investigación y validación de variedades para zonas secas-semisecas, zonas húmedas y zonas de piedemonte.

El propósito general es ofrecer a los agricultores las alternativas varietales de mejor adaptación en cada ambiente, por medio de la evaluación de genotipos estables en su expresión genética y sus características agronómicas principales, a fin de contribuir al desarrollo sostenible de las tierras agrícolas dedicadas al cultivo. Las metas concretas de mejoramiento se definen para cada ambiente, en términos de la respuesta en producción esperada de las nuevas variedades.

Como resultado de la gestión en mejoramiento genético en las empresas del sector, en la última década (1999-2010) el número de variedades sembradas por la agroindustria se ha duplicado, según lo muestran los registros históricos del censo que Cenicaña actualiza cada año con los datos entregados por los ingenios azucareros (Figura 18).

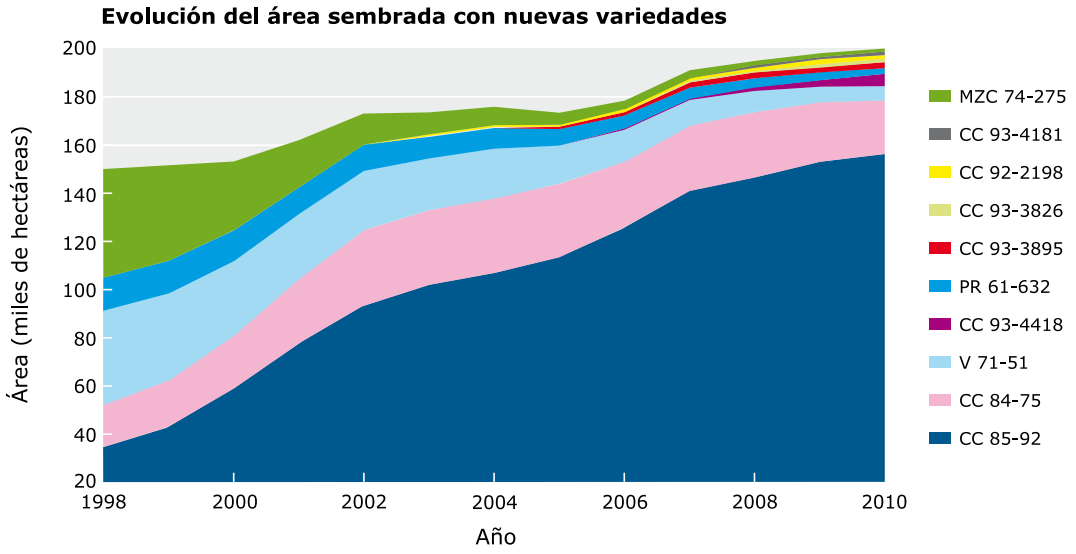


Figura 18. Evolución del área sembrada con nuevas variedades de caña de azúcar en la agroindustria azucarera colombiana (1998-2010).

Cruzamientos

Estación Experimental Cenicaña, Colombia 2010

Entre enero y octubre se realizaron 31 cruzamientos (27 biparentales y el resto policruzamientos), 24 de ellos con variedades del grupo élite para ambiente húmedo y siete con variedades de grupos de alto contenido de sacarosa y resistencia al volcamiento. Diez cruzamientos biparentales y tres policruzamientos incluyeron al menos un progenitor CC. En el 83% de los cruzamientos para ambiente húmedo, al menos uno de los progenitores había recibido tratamiento de fotoperíodo artificial para la inducción de floración.

Estación de Hibridación CIDCA, México 2009

Durante 2010 fueron recibidos, procedentes de México, un total de 177.6 gramos de semilla sexual de 50 cruzamientos, a partir de la cual se pueden obtener hasta 62,275 plántulas. Cada cruzamiento puede dar origen a 1100 plántulas como mínimo.

Las plántulas obtenidas de un cruzamiento pasan por una prueba de progenie (familias en prueba); cuando la progenie presenta valores medios de sacarosa, altura de tallos y población por encima de la media total del testigo, entonces con estos cruzamientos se siembra el Estado I de las familias probadas.

Obtención de variedades

Las nuevas variedades que resultan de los cruzamientos programados son evaluadas en cada ambiente de selección durante tres estados y una prueba regional. En todo el proceso se mantiene la supervisión fitosanitaria de los semilleros y las parcelas experimentales.

Durante el segundo semestre de 2010, debido a la confirmación en julio de la presencia de la roya naranja, *Puccinia kuehnii* (W. Kruger) E.J. Butler, en semilleros y lotes de experimentación en los ingenios Castilla y La Cabaña (prueba regional de variedades CC de la serie 2001, zona húmeda), la totalidad de las áreas en experimentación fueron evaluadas en busca de la enfermedad. En los tres ambientes de selección se identificaron 21 variedades de semilleros con diagnóstico positivo para roya naranja: 19 variedades fueron calificadas como resistentes por tener grados de infección inferior a 5 e incidencias inferiores al 12% y dos variedades, CC 01-1884 y CC 01-1305, fueron calificadas como susceptibles por tener infección en grado 6 ó más e incidencia de 15% o más. Todas las cepas de CC 01-1884 y CC 01-1305 fueron erradicadas en todos los sitios de las pruebas regionales.
En las evaluaciones se corroboró la resistencia de CC 85-92 y CC 84-75 a la roya naranja.

De acuerdo con lo anterior, a partir de este año las variedades son seleccionadas por resistencia a carbón (*Ustilado scitaminea* Sydow), roya café (*Puccinia melanocephala* H. & P. Syd.), roya naranja (*Puccinia kuehnii*) y mosaico (SCMV). Como una característica deseable se evalúa también la resistencia al barrenador *Diatraea* spp.

Variedades para zonas secas-semisecas

Los experimentos se ubican en la parte plana del valle del río Cauca, en sitios representativos de las zonas agroecológicas caracterizadas por condiciones de humedad H0, H1 y H2. Las variedades son seleccionadas por su adaptación, buscando aumentar el contenido de sacarosa (% caña) por lo menos en 5% con respecto a la variedad comercial utilizada como testigo y mantener el tonelaje de caña.

Estado III-2005. En el segundo corte del experimento establecido en las zonas agroecológicas 21H0 y 30H0 en los ingenios Castilla y Mayagüez, respectivamente, las variedades en evaluación mostraron diferencias significativas entre ellas en sacarosa (% caña), toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de sacarosa por hectárea (TSH).

Aunque ninguna de las variedades superó al testigo CC 85-92 en términos estadísticos, en ambas zonas se obtuvieron resultados destacados con las variedades CC 05-430 y CC 05-231, las cuales presentaron 9% y 4% de ganancia relativa sobre las 20.3 TSH del testigo. Estas variedades han presentado buenas características agronómicas y resistencia genética a las enfermedades de carbón, mosaico, roya café y roya naranja. Fueron seleccionadas para evaluación en prueba regional, etapa siguiente del proceso de selección.

Con la variedad CC 05-430 se consiguió el mayor tonelaje de caña en la zona 21H0 (14% más que 141 TCH del testigo) y el mayor de sacarosa en la zona 30H0 (16% sobre 22.8 TSH del testigo). Además, en ambas zonas se tuvieron resultados sobresalientes con la variedad CC 05-250 y, específicamente en la zona 30H0 con la variedad CC 05-27 que produjo 13% más sacarosa (% caña) que el testigo comercial (14.4%).

Prueba regional de las series 1997-2001. En esta prueba se evalúan 17 variedades en cuatro zonas agroecológicas y seis ingenios durante tres cortes. En 2010 se completaron las evaluaciones de segundo corte en Incauca (zona agroecológica 11H3) y Mayagüez (11H1) y, junto con los resultados obtenidos el año anterior en Manuelita (11H1), Providencia (6H1), Riopaila Castilla (planta Riopaila, 15H1) y Sancarlos (6H1) se hizo el análisis combinado de varianza, medias y estabilidad fenotípica de las variedades en evaluación y del testigo comercial CC 85-92. La cosecha se realizó entre 12.8 y 13.8 meses de edad y se analizó la respuesta en términos de sacarosa (% caña), TCH y TSH.

En el análisis combinado de todas las localidades, las mayores diferencias con respecto al testigo se observaron en sacarosa (% caña). Las variedades con ventaja relativa en sacarosa *versus* el testigo CC 85-92 (14.5%) fueron: CC 01 678 (11% más que el testigo), CC 01-1228 (7%), CC 97-7170 (7%), CC 01-746 (6%) y CC 99-1405 (2%); las dos primeras superaron el tonelaje del testigo (20.5 TSH) en 4% y la tercera, en 3%.

Así, las variedades más estables y que pueden brindar un alto potencial genético en las zonas secas-semisecas, son: CC 01-1228, CC 97-7170, CC 01-678, CC 00-3079, CC 01-1789 y CC 01-1484.

Según los resultados del análisis combinado de plantilla y soca por localidad, las variedades promisorias se distribuyen así:

- CC 01-678: Manuelita (zona agroecológica 11H1), Incauca (11H3) y Riopaila (15H1)
- CC 01-1228: Sancarlos y Providencia (6H1), Manuelita y Mayagüez (11H1) e Incauca (11H3)
- CC 97-7170: Sancarlos y Providencia (6H1) y Manuelita y Mayagüez (11H1)
- CC 00-2639 y CC 01-1484: Mayagüez (11H1)
- CC 01-1484, CC 98-426 y CC 01-1508: Riopaila (15H1)

Diez y seis variedades presentaron resistencia a *Diatraea* spp. Las más resistentes fueron CC 01-1508 y CC 00-3191. Sólo una variedad, CC 01-1940, fue calificada en el nivel de moderadamente resistente.

Variedades para zonas húmedas

Los experimentos se ubican en la parte plana del valle del río Cauca, en sitios representativos de las zonas agroecológicas caracterizadas por condiciones de humedad H3, H4 y H5. Las variedades son seleccionadas por su adaptación, buscando aumentar el contenido de sacarosa (% caña) por lo menos en 5% con respecto a la variedad comercial utilizada como testigo y el tonelaje de caña en 15%.

Prueba regional de la serie 2001. Se cosechó la plantilla de cinco variedades en evaluación y el testigo comercial CC 85-92. La experimentación se lleva a cabo por tres cortes en cinco zonas agroecológicas de influencia en Incauca (zona 5H5), La Cabaña (10H4), Riopaila Castilla (planta Castilla, zona 6H4 y planta Riopaila, zona 5H4) y Sancarlos (5H2, corregida por condición de humedad).

El análisis combinado de varianza, medias y estabilidad fenotípica de las cinco variedades y el testigo se hizo para las variables sacarosa (% caña), TCH y TSH. Las edades de cosecha estuvieron en el rango de 11.5 y 14.2 meses.

En el Ingenio La Cabaña (hacienda Cabaña, suerte 25D) se encontraron síntomas de roya naranja en la variedad CC 01-1884. El diagnóstico fue positivo y la variedad fue calificada como susceptible, por lo cual se erradicó en todas las parcelas de la prueba regional.

La media para sacarosa (% caña) de las variedades fue 13.6% con un rango entre 13.1% y 14.5%; las variedades CC 01-1887 y CC 01-1940 produjeron 8% y 6% más sacarosa (% caña) que CC 85-92 (13.4%). El promedio de TCH fue 128 toneladas con un rango entre 121-139 t y la variedad CC 01-1940 produjo 12% más toneladas de caña por hectárea que CC 85-92 (124 t). El promedio de TSH fue 17.5, con un rango entre 16.5 y 19.8; las variedades CC 01-1940 y CC 01-1817 produjeron 19% y 5% más toneladas de sacarosa por hectárea que el testigo (16.6 TSH).

En TSH las variedades que mostraron mayor sensibilidad a cambios de ambientes fueron CC 01-1866, CC 01-1922 y CC 85-92. Las más estables fueron CC 01-1887 y CC 01-1940. La variedad CC 01-1940 correlacionó de manera positiva con todos los ambientes de evaluación, seguida de CC 01-1817.

Todas las variedades evaluadas en la prueba regional fueron superiores al testigo comercial CC 85-92 en el carácter TSH, según lo indica el análisis a través de las cinco localidades.

La variedad CC 01-1940 fue la más destacada en plantilla. El experimento es por tres cortes. Sobresale por su alta producción de sacarosa (% caña) y TCH similar al testigo, buen aspecto y resistencia genética a las enfermedades principales (carbón, mosaico, roya café y roya naranja), tallos erectos y de porte alto y deshoje natural que facilita la cosecha mecanizada. La variedad es bastante estable, correlacionó positivamente con los cinco ambientes evaluados y presenta respuesta positiva a cambios favorables del ambiente. Se proyecta como una variedad promisoria en zonas húmedas (Figura 19).

Figura 19. Variedad CC 01-1940, promisoria para zonas agroecológicas húmedas de la parte plana del valle del río Cauca (condiciones de humedad H3, H4 y H5). En la fotografía, a los 11.5 meses de edad, en un suelo Ballesteros (Typic Endoaquerts, familia fina) de la zona agroecológica 10H4 en el Ingenio La Cabaña.

Variedades para zonas de piedemonte

Los experimentos se ubican en áreas del piedemonte, en sitios representativos de las zonas agroecológicas caracterizadas condiciones de humedad H0-H5, pendientes mayores al 3% y altitud mayor a 1050 metros sobre el nivel del mar, sin incluir napas de desborde, lechos colmatados ni cauces abandonados. Las variedades son seleccionadas por su adaptación, buscando 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 1998-2004. En esta prueba se evalúan 31 variedades durante tres cortes, en sitos experimentales localizados en las zonas agroecológicas 22H0 (Ingenio Providencia), 29H0 (Riopaila Castilla, planta Castilla) y 33H3 (Incauca).

Durante 2010 se llevó a cabo el corte de la plantilla. En el análisis combinado de varianza y medias para las tres localidades se identificaron variedades que presentan diferencias significativas con respecto al testigo comercial CC 85-92 en sacarosa (% caña), TCH y TSH. Las edades de cosecha estuvieron en el rango de 12.7 y 14.7 meses.

En sacarosa (% caña), la media de las variedades fue 14.4% con un rango entre 12.4% y 15.8%. Las variedades estadísticamente diferentes a CC 85-92 (14.7%) fueron: CC 01-174 (8% más sacarosa en caña que el testigo), CC 01-86 (6%), CC 98-426 (6%), CC 00-3755 (5%) y CC 00-3614 (5%). Otras variedades como RB 73-2223, CC 01-186 y CC 01-174 también se destacaron en esta variable.

La media de TCH fue 94 toneladas, en el rango entre 81-120 toneladas; las variedades con más toneladas de caña por hectárea que CC 85-92 (95 TCH) fueron: CC 91-1606 (18% más TCH), SP 71-6949 (26%), CC 00-3257 (10%) y CC 84-75 (9%).

El TSH tuvo una media de 13.6 toneladas y un rango de variación entre 11.7-17.4 toneladas. Las variedades con más toneladas de sacarosa por hectárea que el testigo comercial CC 85-92 (13.9 TSH) fueron: CC 91-1606 (25%), SP 71-6949 (18%) y CC 84-75 (10%).

En resumen, en la plantilla y a través de tres localidades de piedemonte (zonas 22H0, 29H0 y 33H3) sobresale la variedad CC 91-1606 por altos valores de TSH y TCH, así como las variedades SP 71-6949 y CC 00-3257 por altos valores de TCH e igual TSH que el testigo comercial CC 85-92.

Se destacan las variedades CC 00-3012 y CC 91-1598 por ser las más resistentes a *Diatraea* y superar al testigo CC 85-92.

Características de la caña de azúcar asociadas con el uso eficiente del agua y la productividad

Desarrollar variedades de alta productividad y óptimo consumo de agua es uno de los retos planteados en la visión estratégica del sector azucarero colombiano al 2030 (Asocaña, 2010). Un camino recorrido para el efecto ha sido la selección de variedades de caña de alta productividad y adaptación en las zonas agroecológicas de ambiente seco-semiseco en el valle del río Cauca, aunque en la experimentación se aplica riego oportuno de acuerdo con el balance hídrico en el suelo y por lo tanto las variedades crecen y maduran sin estrés por falta de agua.

Para la selección de variedades con cualidades concretas, en este caso asociadas con la eficiencia en el uso del agua, es necesario identificar de modo muy preciso cuáles son las variables que modelan los procesos fisiológicos y bioquímicos que ocurren en la planta y cómo éstos se manifiestan en las características morfológicas, que son visibles, y en las fisiológicas, determinadas por indicadores más complejos relacionados con las funciones que le otorgan a la planta las cualidades de tolerancia al déficit hídrico, especialmente en la etapa de rápido crecimiento, sin afectar la productividad.

En el Ingenio Manuelita, zona agroecológica 11H0 (suelo Palmeras, Vertic Haplustolls, familia francosa fina), en febrero de 2010 se sembró un experimento a través del cual se busca identificar características agronómicas, fisiológicas y determinar marcadores bioquímicos asociados con la eficiencia en el uso de agua por la planta para la producción de caña, que permitan distinguir entre variedades tolerantes al déficit hídrico y variedades susceptibles.

Las variedades utilizadas para la experimentación son CC 85-92, CC 00-3771, CC 04-844, CC 93-7711, CC 98-577, Co 421, RB 73-2223, SP 71-6949 y MZC 74-275. Las evaluaciones se realizan durante tres cortes e incluyen la determinación del ángulo de inserción de la hoja, eficiencia de la clorofila, contenido de clorofila,

temperatura de la hoja, temperatura frontal de la planta, conductancia estomática, contenido de prolina, presencia de cera en el tallo y mediciones frecuentes de variables agronómicas, morfológicas y fisiológicas que han sido registradas en la literatura como determinantes de los indicadores del uso eficiente de agua en caña de azúcar y otros cultivos. Las variedades se someten a un tratamiento de estrés por déficit de humedad durante la época de rápido crecimiento y tanto las variables de análisis como la respuesta en productividad se comparan con un testigo sin déficit.

De acuerdo con los avances del experimento, en las evaluaciones a los 5, 6 y 7 meses de edad de la caña se ha observado que el peso fresco de los tallos es una variable discriminatoria de la tolerancia o susceptibilidad al estrés por déficit hídrico. Se puede afirmar que la variedad SP 71-6949 ha utilizado de modo eficiente el agua disponible; no se encontraron diferencias significativas en el peso de los tallos frescos de la variedad entre los tratamientos de déficit humedad y el testigo sin déficit, con agua disponible todo el tiempo. La escasez de agua afectó la altura de los tallos de las variedades susceptibles pero no el diámetro de éstos ni la población.

En relación con las raíces, evaluadas a los seis meses, en el sitio experimental la variedad SP 71-6949 produjo raíces en forma generalizada en todo el perfil, hasta 0.8 m de profundidad y a ambos lados del surco, cuando encontró humedad disponible en el suelo; en condiciones de déficit de humedad, las raicillas crecieron y se profundizaron. Por su parte, la variedad MZC 74-275 produjo raíces en forma generalizada en el suelo húmedo pero cuando enfrentó déficit la producción de raíces fue escasa y la mayoría se desarrollaron cerca de la superficie del suelo; se observó una reducción del peso fresco de la raíz en el tratamiento de déficit con respecto al tratamiento testigo (sin déficit). Se detectaron diferencias significativas de esta variable entre variedades; la diferencia en peso de las raíces de SP 71-6949 fue de 34% y en MZC 74-275, de 70%.

Evaluación de variedades en otras regiones de Colombia

Los experimentos fueron establecidos en 2007 y concluirán con las cosechas del tercer corte que se están adelantando en los distintos sitios. Los resultados generales indican una media de producción de 100 TCH alrededor de los 12 meses de edad de la caña. El contenido de sacarosa (% caña) de las variedades, así como el contenido de azúcares reductores totales (ART, % caña), han variado de acuerdo con el sitio de evaluación y el clima ocurrido durante el período de cosecha. En las cosechas realizadas en época de verano los contenidos de sacarosa (% caña) fueron superiores al 12%, mientras que en época de invierno se registraron valores cercanos al 9%.

Multiplicación de variedades con semilla libre de patógenos

Cenicaña presta el servicio de suministro de plántulas obtenidas con el sistema de yemas extraídas para el establecimiento de semilleros sanos. Durante 2010, se produjeron 800 mil plántulas de diferentes variedades, de las cuales se entregaron 94,975 plántulas para experimentación y 483 mil plántulas de 18 variedades para fines comerciales (Cuadro 8).

Cuadro 8. Multiplicación de variedades a partir de yemas extraídas. Estación Experimental, 2010.

Variedad	Varias entidades*	Riopaila Castilla	Mayagüez	Sancarlos	Pichichí	La Cabaña	Carmelita	Providencia	Total
CC 85-92	206,790			50		4900			211,740
Varias, experimentos Cenicaña									94,945
CC 00-3079	2500	11,700	12,500	7300			2000		36,000
CC 93-4181		8000			13,500	1500	4100		27,100
CC 93-3826		25,000		2000					27,000
CC 97-7170	2500		12,500	2000		1500	2300	5000	25,800
CC 01-1228	2500		10,500			1500	1000	6750	22,250
CC 01-1940	18,600			3000					21,600
CC 93-4418					13,500	1500	2400		17,400
CC 84-75	5000			5500		2000			12,500
CC 01-1484				7300			4300		11,600
CC 01-678	2500		8100						10,600
Subtotal	240,390	44,700	43,600	27,150	27,000	12,900	16,100		518,533
Otras 33 variedades		15,250	1308	9095	9000	15,000	9622		59,277
Total	240,390	59,950	44,908	36,245	36,000	27,900	25,722	11,750	577,810

* Variedad (número de plántulas: nombre de la entidad): CC 85-92 (4000: hacienda Payandé-Cundinamarca; 100,000: Secretaría de Agricultura de Cundinamarca; 102,750: Endesa/Fedepanela; 40: Ciat). CC 00-3079 (2500: Oriente S.A.). CC 97-7170 (2500: Oriente S.A.). CC 01-1228 (2500: Oriente S.A.). CC 01-1940 (100: hacienda el Desierto; 500: Andro Investment). CC 01-678 (2500: Oriente S.A.). CC 84-75 (5000: Endesa/Fedepanela).

Empaque de plántulas para envío.

Biotecnología

Mapeo de QTL asociados a componentes de sacarosa y biomasa

Se construyó un mapa genético del cruzamiento MZC 74-275 x ICA 69-11 y se efectuó un análisis de QTL para componentes de sacarosa y biomasa. Se conformaron 130 grupos de ligamiento a partir de 562 marcadores.

El análisis de QTL se realizó utilizando el mapeo por intervalo compuesto (CIM, por su sigla en inglés) con el software *QTL Cartographer v. 2.5* (Wang *et al.*, 2007). En el análisis de la población a los 12 meses de edad del cultivo en tres ambientes de estudio (zonas húmedas, secas-semisecas y de piedemonte) se identificaron 90 asociaciones de QTL: 17 para biomasa y 73 para sacarosa. En la zona húmeda se encontraron 37 QTL y 32 fueron para sacarosa. En el piedemonte se identificaron 7 QTL, todos asociados con biomasa. El QTL con mayor efecto (R^2=75%) se encontró para la variable biomasa SPAD en la zona seca-semiseca.

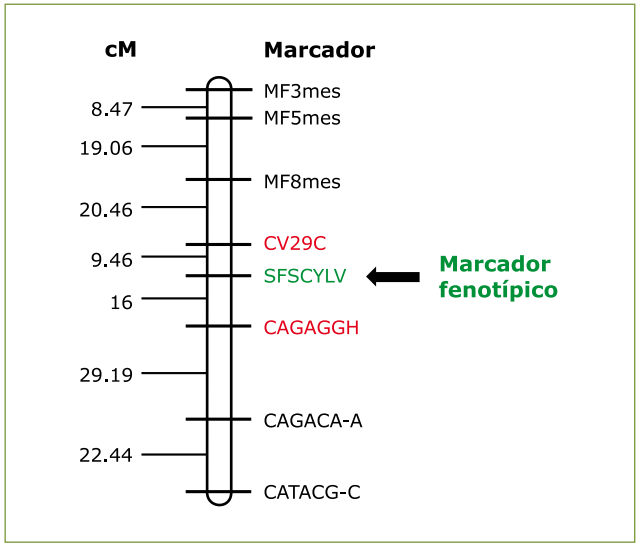


Figura 20. Grupo de ligamiento V (GL5), donde se observa el marcador fenotípico (SFSCYLV) delimitado por dos marcadores moleculares a distancias de 10 cM y 17 cM.

Mapeo de genes de resistencia al virus de la hoja amarilla (SCYLV)

Para el mapeo de genes de resistencia al virus de la hoja amarilla (SCYLV) se evaluaron 19 combinaciones de marcadores AFLP y dos microsatélites (CV29 y CV37). Los 419 marcadores moleculares identificados fueron sometidos a prueba de Chi cuadrado (X^2) para descartar aquellos que no segregaban de acuerdo con las proporciones esperadas de 1:1 para marcadores presentes en un solo parental y 3:1 para marcadores presentes en ambos parentales.Luego de la prueba se conservaron 309 marcadores moleculares, con los cuales se elaboró un mapa genético preliminar que permitió conformar 61 grupos de ligamiento. En el grupo de ligamiento V, delimitado por dos marcadores a distancias de 10 cM y 17 cM, se identificó un posible gen de resistencia al virus la hoja amarilla (Figura 20).

Transformación genética de variedades de caña de azúcar

Inducción de callo embriogénico a partir de tejido meristemático

Se han establecido callos embriogénicos de las variedades CC 84-75 y CC 85-92 con edades que oscilan entre 1 y 4 meses, a partir de aproximadamente 800 explantes de tejido meristemático. La capacidad embriogénica de los callos fue alta en ensayos de regeneración. Este tejido será utilizado en ensayos de transformación mediante pistola genética.

Ensayos de transformación genética con Agrobacterium tumefaciens

En Cenicaña se está trabajando en la estandarización de un protocolo de transformación genética usado la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*. En el pasado se realizaron ensayos de transformación usando la metodología propuesta por Bonilla (2007) con el objetivo de transformar las variedades CC 84-75 y CC 85-92 con el promotor específico de las células guardas de *Arabidopsis thaliana* y el gen reportero Gus. Sin embargo esta metodología no produjo resultados satisfactorios. Por esta razón, en la actualidad se trabaja con la metodología propuesta por Joyce y colaboradores (2010) usando la cepa Agl1 de *A. tumefaciens* y el plásmido pCambia 1305.2, el cual también contiene el gen reportero Gus. Usando esta nueva metodología se han establecido ensayos con 600 explantes de la variedad CC 85-92 y 660 explantes de la variedad CC 84-75. También se llevan a cabo las pruebas para detectar la expresión del gen reportero *GusPlus*®.

Validación de plásmidos para transformación genética

Después de analizar las reacciones de secuenciación obtenidas de la compañía Macrogen Corporation se corroboró la secuencia exacta de los plásmidos pUbi/*1sd* y pCambia1305.2 y con esta información se corrigieron los mapas almacenados en la base de datos del programa *Vector NTI Advance V. 11* (*Invitrogen*™). La información obtenida de Macrogen no fue suficiente para establecer la secuencia completa de la región del ADN de transferencia (ADN-T) en los plásmidos pCambia/395 y pCambia/396, por lo que se ordenaron reacciones de extensión adicionales.

Pistola genética.

Optimización del sistema de biobalística con la pistola genética Hepta–Cenicaña

Durante el 2010 se finalizó la construcción de la pistola genética Hepta-Cenicaña. Adicionalmente, se trabajó en el establecimiento de las condiciones óptimas de disparo para obtener expresión transiente del gen reportero Gus usando esta nueva herramienta. Después de múltiples ajustes en el dispositivo se definió que las condiciones óptimas de disparo que permitieron obtener la expresión transiente del gen *GusPlus*® en callo embriogénico de la variedad CC 84-75 son: presión de disparó de 1350 psi, tamaño de micropartícula de 1 µM y distancia de disparo de 6 cm. A partir de estos resultados, actualmente se adelantan acciones para estandarizar en Cenicaña la transformación genética de caña de azúcar utilizando el plásmido pCambia1305.2.

Búsqueda de promotores en el genoma de la caña de azúcar

El objetivo principal del estudio es aislar promotores de genes de sacarosa y biomasa en el genoma de la caña, específicamente en la la variedad CC 01-678. Esta variedad se caracteriza por alta producción de sacarosa y biomasa, lo cual podría deberse a una función optima de los promotores de estos genes.

Con base en reportes científicos (Papini-Terzi *et al*., 2009; Casu *et al*., 2007) se seleccionó un grupo de genes asociados con la producción de azúcar y biomasa. Inicialmente se aislaron fragmentos de los genes de interés y se comprobó su identidad mediante clonación y secuenciación. Aquellos fragmentos cuyas secuencias fueron altamente similares (>85%) a las de los genes reportados fueron seleccionados como posibles candidatos para el aislamiento de sus promotores. Hasta el momento se ha logrado la amplificación completa de la región promotora del gen SuSy o Sucrosa Sintetasa reportado en el banco de genes (GenBank, No. de accesión: AY118266) y se trabaja en la clonación del promotor del gen SuSy en un vector de expresión a fin de corroborar su potencial en transformación genética. También se trabaja en el aislamiento de promotores de otros genes previamente seleccionados.

Aislamiento y caracterización de genes asociados con tolerancia al estrés hídrico en caña de azúcar

El objetivo es aislar genes responsables de la tolerancia al estrés por déficit o exceso hídrico en la caña de azúcar, información que puede ser de gran utilidad en procesos de selección de germoplasma y transformación genética.

Construcción de librerías de ADNc

En el mes de octubre se iniciaron los experimentos por déficit hídrico y exceso hídrico en invernaderos y en lisímetros, respectivamente. Para identificar los genes asociados con tolerancia al estrés hídrico se requieren librerías (bibliotecas) de ADNc, a partir de las cuales se pueden aislar genes de interés. Las librerías se construirán a partir de las variedades que muestren un mejor desempeño bajo el estrés respectivo (déficit o exceso).

Visualización ADN.

En los experimentos por déficit se evaluarán las variedades SP 71-6949, RB 73-2223 y CC 93-7711 y como testigo susceptible la variedad MZC 74-275; en los experimentos de estrés por exceso, las variedades CC 01-1940, CC 01-1817 y CC 05-940 y como testigo susceptible CC 93-4418. Para las evaluaciones se colectará tejido foliar y radicular de las variedades, las cuales crecerán en condiciones normales de humedad hasta los tres meses de edad y a partir del cuarto mes se les inducirá el estrés hídrico.

Clonación y secuenciación de genes de secuencia completa asociados con estrés por déficit hídrico

Además de la construcción de las librerías de ADNc, en el último año Cenicaña ha utilizado otras técnicas moleculares como PCR y RT-PCR para la identificación y aislamiento de genes de secuencia completa asociados con tolerancia al estrés hídrico.

Esto ha sido posible porque en la base de datos de SUCEST-FUN <www.sucest-fun.org>, que almacena toda la información genómica de caña de azúcar, se han identificado diferentes marcadores de secuencia expresada (EST**,** por su sigla en inglés) que al ser comparados con genes de secuencia completa (caracterizados en otras especies y asociados con tolerancia a estrés hídrico) han mostrado marcas estructurales como son los codones de inicio (ATG) y terminación (TAG, TAA y TGA). La identificación de estas marcas estructurales en los EST de caña es de gran importancia, ya que presumen una secuencia completa.

Con base en esta información se diseñaron iniciadores de PCR para amplificar al menos una isoforma de los genes LEA, UPF0057, proteasa cisteína (RD19A), Myb, WRKY y DREB. Los resultados de PCR mostraron que se cuenta con al menos una isoforma de secuencia completa de los genes LEA, UPF0057 y proteasa cisteína (RD19A). Cada uno de estos genes de secuencia completa ha sido secuenciado y su identidad ha sido comprobada. Aún no se han obtenido reacciones de PCR positivas para los factores de transcripción Myb, WRKY y DREB; sin embargo, se trabaja en la estandarización de la reacción PCR mediante el uso de los iniciadores actualmente disponibles para estos factores de transcripción.

Fitopatología

Presencia de roya naranja en cultivos de caña de azúcar en el valle del río Cauca

En julio de 2010, en semilleros y en lotes experimentales de la prueba regional de la serie 2001 localizados en los ingenios Castilla y La Cabaña se encontraron síntomas característicos de roya naranja en la variedad CC 01-1884.

La presencia del hongo causal de la roya naranja fue confirmada mediante microscopía óptica convencional y electrónica de barrido; las muestras de CC 01-1884 fueron comparadas con muestras de la variedad CC 85-92 afectadas por roya café y se establecieron las diferencias morfológicas entre los patógenos.

Cenicaña divulgó la voz de alerta sobre la presencia de la roya naranja en el valle del río Cauca, ofreció capacitación al personal de los ingenios y a los proveedores de caña en la identificación de los síntomas y el manejo integral de la enfermedad y, al mismo tiempo, llevó a término las evaluaciones de diagnóstico, incidencia y reacción del hongo en las variedades experimentales.

Alerta fitosanitaria

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

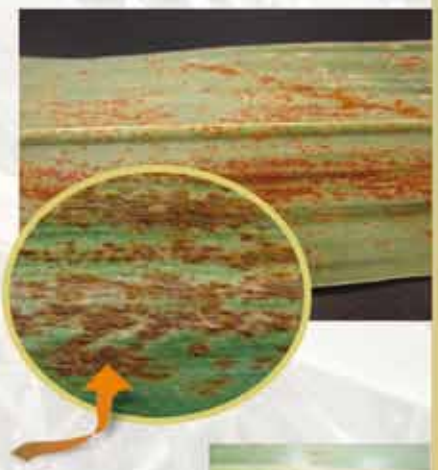
cenicaña

Roya naranja en el valle del río Cauca

En julio de 2010 se registraron en caña de azúcar en el valle del río Cauca, Colombia, los primeros indicios de la presencia del hongo *Puccinia kuehnii*, agente causal de la enfermedad roya naranja.

Síntomas

- Los síntomas de la presencia del hongo se observan principalmente en el envés de las hojas, donde aparecen pequeñas lesiones alargadas de color amarillo pálido.
- A medida que la infección avanza, las lesiones aumentan de tamaño y adquieren un color anaranjado que luego pasa a ser entre anaranjado y café.
- En las hojas afectadas aparecen grupos de pústulas que contienen las esporas del hongo, las cuales tienen una apariencia de polvo anaranjado y son dispersadas por el viento.



Algunas lesiones viejas pueden ser de color café oscuro.

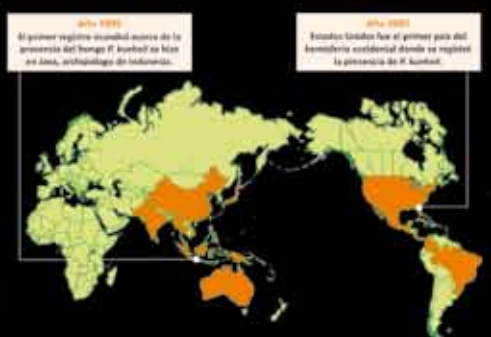
Medidas de control

- La siembra de variedades de caña resistentes al patógeno es la principal medida de control.
- En las plantaciones afectadas por roya se recomienda aplicar fertilizantes nitrogenados y riego después de los cinco meses de edad del cultivo, lo cual estimula la producción de nuevo follaje y la recuperación de la planta.
- Evitar la multiplicación de variedades susceptibles.

En Colombia, hasta el momento el 98% del área dedicada a la producción de azúcar se encuentra sembrada con variedades resistentes.

Más información en www.cenicana.org

DISTRIBUCIÓN DE LA ENFERMEDAD



Evaluaciones del efecto de la enfermedad en la producción en variedades susceptibles señalan que en Australia se redujo el tonelaje de caña por hectárea en 38-40% en la variedad Q124, y en Guatemala la disminución fue de 7.6% en la variedad CP 72-2086.

Vigile las áreas de cultivo y si detecta indicios de la enfermedad avise de inmediato al departamento técnico de su ingenio, donde le informarán los procedimientos que debe seguir.

© cenicaña 2010

Evaluaciones de roya café en CC 85-92 y CC 84-75

La incidencia de roya café en las variedades CC 85-92 y CC 84-75 aumentó respecto al 2009 debido a la escasez de lluvia y las altas temperaturas que se registraron en los primeros meses de 2010. No obstante, de acuerdo con los resultados de las evaluaciones ambas variedades se han mantenido con la calificación de resistentes a roya café. En la variedad CC 85-92 la incidencia alcanzó 12% con reacción en grado 5, mientras que en CC 84-75 la incidencia fue de 10%, con grado 5 de reacción. Se observó una tendencia de mayor incidencia en plantilla que en socas.

Diagnóstico del virus de la hoja amarilla por PCR en tiempo real

Con el objetivo de definir el método estadístico más apropiado para el diagnóstico del virus de la hoja amarilla (SCYLV) mediante PCR en tiempo real se realizaron pruebas de eficiencia de la expresión génica del virus y del gen constitutivo (O-MET) en una misma reacción utilizando la técnica de sonda TaqMan®.

Los resultados más confiables se consiguieron a 55 °C, 400 µM de cada iniciador y 55 °C, 200 µM de cada sonda. La eficiencia de la reacción fue del 91.3% (R^2=0.99) para SCYLV y del 98.6% (R^2=0.96) para O-MET. De acuerdo con las condiciones del fabricante, los porcentajes de eficiencia oscilan entre 90%–105%.

A partir de esta información se determina el diseño estadístico que se debe usar en el diagnóstico del SCYLV por PCR en tiempo real, para hallar la expresión génica y traducir los resultados en porcentaje de incidencia.

Entomología

Investigaciones para el manejo integral del salivazo Aeneolamia varia en el valle del Cauca

El salivazo *A. varia* fue registrado por primera vez en caña de azúcar en el valle del río Cauca a mediados de 2007, por lo cual el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) declaró la emergencia sanitaria en la zona comprendida entre los municipios de Buga, Mediacanoa, Tuluá y Riofrío, la cual ha sido delimitada desde entonces como zona de cuarentena.

En 2010 se constató el desplazamiento de *A. varia* a lotes de caña fuera de la zona de cuarentena, en predios ubicados en inmediaciones del municipio de Bolívar, 30 kilómetros al norte de la planta del Ingenio Carmelita, en la suerte 5 de la hacienda Sancarlos.

Cenicaña adelanta proyectos de investigación acerca del comportamiento y la biología del insecto y evalúa opciones de control integral mediante el uso de hongos entomopatógenos, nematodos entomopatógenos y variedades de caña resistentes. Las investigaciones cuentan con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Avances acerca de la biología de A. varia en casa de malla

La casa de malla se encuentra ubicada en las instalaciones del Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena) en Buga, donde se cuenta además con dos laboratorios para las investigaciones.

Adulto del salivazo Aeneolamia varia.

En este sitio se está caracterizando el ciclo de vida del insecto de acuerdo con unas condiciones dadas de cría, de modo que se pueda programar la producción de la cantidad necesaria de individuos en los estados de desarrollo que se requieren para los experimentos de resistencia varietal y evaluación de hongos y nematodos entomopatógenos.

Se determinó el tiempo de desarrollo en el cual ocurren los diferentes estados de *A. varia* en el sistema de cría en casa de malla sobre pasto braquiaria: 25 días para el estado de ninfa y 12 días para el adulto, en promedio. Entre los 28 y 32 días después de iniciada la cría se tuvo la mayor emergencia diaria de adultos en la colonia. Se constató cómo se van desplazando de acuerdo con el cambio del insecto de un estadio al otro. La mortalidad total en el estado ninfal fue de 6.9%. La emergencia de adultos alcanzó el 92.7% y la mortalidad de éstos fue de 0.5%.

Ensayo de diapausa en huevos de A. varia en la hacienda San José Garcés

En la hacienda San José Garcés, Ingenio Providencia, se tiene un sitio experimental con una colonia de *A. varia*. Las evaluaciones de diapausa (tiempo de reposo) en huevos señalan que antes de entrar en latencia, la supervivencia de los huevos es de 58.5%. El estado de diapausa puede ser inducido por condiciones ambientales adversas, especialmente por baja humedad en períodos secos.

Según el tiempo de diapausa, se identifican los siguientes grupos (entre paréntesis el porcentaje por grupo): Huevos de rápido desarrollo, que completan su ciclo en menos de 18 días (71.8%); diapausa corta: entre 18 y 30 días (26.4%); diapausa media: entre 30 y 90 días (2.2%) y diapausa larga: más de 90 días (>2%).

Dinámica de poblaciones de A. varia en la hacienda la Negra

El comportamiento y la biología de *A. varia* resultan afectados por las condiciones climáticas y por el tipo de planta que le sirva de alimento. Cuando el insecto se cría sobre plántulas de caña su desarrollo es muy lento y los estados ninfales toman un tiempo considerablemente mayor que cuando se cría en pasto braquiaria.

En la hacienda la Negra del Ingenio Pichichí, en zona de cuarentena, con la llegada de las lluvias se inicia la captura de adultos en trampas pegajosas para el monitoreo de la fluctuación poblacional de *A. varia*.

Durante 2010 no se observaron picos definidos de adultos debido a que la población fue escasa. En los primeros nueve meses las poblaciones disminuyeron de modo drástico con respecto a 2009, lo cual se relaciona con la fuerte sequía del primer semestre. La abundancia de adultos en 2009 fue 30 veces mayor que en 2010. Sin embargo la plaga está latente y es muy posible que en condiciones de alta humedad pueda incrementar sus poblaciones.

En 2009 se presentaron cinco picos de población, dos en enero-marzo, uno en agosto-septiembre y dos más en octubre-diciembre. En 2008 se detectaron cuatro picos definidos entre mayo y octubre. La abundancia de adultos fue más del doble en 2008 en comparación con 2009.

Adulto de A. varia afectado por hongos.

Hongos entomopatógenos para el control de A. varia

De las 43 cepas de hongos obtenidas se encontró que 15 cepas presentaron actividad patogénica sobre adultos de *A. varia*; cinco cepas pertenecen a *Paecilomyces lilacinus* y diez a *Metarhizium anisopliae*. La virulencia de las cepas de *M. anisopliae* varió entre 16.7% y 87.5%. En el proceso se han identificado los recipientes más apropiados para llevar a cabo los bioensayos, el número de insectos y repeticiones del experimento y las condiciones de temperatura y humedad apropiadas para las evaluaciones.

Ninfa de A. varia con nematodos.

Nematodos entomopatógenos para el control de A. varia

Para las investigaciones se cuenta con siete cepas de nematodos entomopatógenos, cinco cedidas por Cenicafé y dos logradas entre 80 muestras de suelo colectadas en distintos lugares de Colombia. Las evaluaciones de parasitismo se llevan a cabo en el laboratorio del Sena en Buga, donde se han utilizado seis cepas: *Steinernema websteri, Steinernema sp2, Steinernema sp1, Steinernema colombiense, O1R1 y Heterorhabditis bacteriophoraK.* Después de 72 horas de exposición a las diferentes cepas de nematodos, en la población de adultos se registró una mortalidad del 100%, mientras que en ninfas de quinto instar, después de 14 días, la mortalidad fluctuó entre 3-17%. Se está evaluando el parasitismo sobre los demás estados ninfales; los estados ninfales más desarrollados son los más susceptibles al ataque de entomonematodos.

Larva de S. nigra depredando ninfa de salivazo.

Ecología de la mosca Salpingogaster nigra, depredadora de A. varia

En la hacienda el Edén, corregimiento de Fenicia, municipio de Riofrío, en la zona de cuarentena, se hicieron recolecciones periódicas de adultos de *S. nigra* con el fin de comparar la oviposición de éstos con la de adultos criados en laboratorio. Los individuos fueron alimentados con flores de las arvenses *Emilia sonchifolia* y *Parthenium hysterophorus.* En ambas poblaciones la mayor ovoposición correspondió a las hembras alimentadas con *P. hysterophorus*.

Debido a la escasa producción del salivazo *Zulia carbonaria* en el invernadero de la Estación Experimental de Cenicaña fue imposible mantener la colonia permanente de *S. nigra* durante 2010. La situación se relacionó con la baja radiación solar disponible para la cría, por lo cual se cambió el techo del invernadero.

Detección de plagas potenciales

Como parte de los servicios de Cenicaña en sanidad vegetal, durante 2010 se atendieron varias emergencias por ataque de insectos en cultivos de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Los principales problemas fueron debido a brotes de algunas plagas como consecuencia del verano prolongado.

Las plagas potenciales detectadas son: pulgón amarillo, *Sipha flava*; chinche de encaje, *Leptodictya tabida*; gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* y, falso medidor, *Mocis latipes*. También se observaron poblaciones bajas de *Caligo illioneus* que no causaron alarma. A la situación de las plagas potenciales se sumó el desplazamiento del salivazo *A. varia* fuera de la zona de cuarentena, a inmediaciones del municipio de Bolívar, y las infestaciones de *Diatraea* spp.

Cicloneda sanguinea, predador de pulgones.

Harmonia axyridis e *Hippodamia convergens*, predadores de *Perkinsiella saccharicida*.

Infestaciones de Diatraea en el valle del río Cauca

Al comparar la distribución de los niveles de infestación de *Diatraea* spp. y los sitios de liberación de los parasitoides *Billaea* (*Paratheresia*) *claripalpis*, *Lydella* (*Metagonistylum*) *minense* y *Trichogramma exiguum*, se observó que en el centro del Valle del Cauca, en donde se hicieron menos liberaciones, se alcanzaron los niveles más altos de infestación. Se encontró que existe una relación directa entre las infestaciones altas de *Diatraea* y la falta de liberaciones de parasitoides en esos sitios. Con el incremento de liberaciones correctivas en las zonas críticas se ha logrado reducir los niveles de infestación a niveles bajos.

Propiedad intelectual

Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales

La Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) es una entidad intergubernamental con sede en Ginebra, Suiza, que busca la protección internacional de los derechos de los obtentores de las nuevas variedades de plantas. Colombia es país miembro de esta organización desde el 13 de septiembre de 1996 y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) es la entidad encargada de ejercer en el territorio nacional el control técnico-científico tendiente a reconocer y garantizar la protección de los derechos del obtentor de nuevas variedades vegetales.

De acuerdo con el ICA, la protección varietal se resuelve a favor de quien o quienes desarrollan y terminan una nueva variedad para su explotación. La razón de la protección está fundamentada en que las variedades mejoradas son un elemento necesario, que ofrece una relación costo-beneficio ventajosa en la mejora cualitativa y cuantitativa en la producción de alimentos, por lo cual su protección constituye un incentivo para desarrollar nuevas variedades.

Para la resolución de los casos de protección varietal, el ICA verifica que la variedad cumpla con las condiciones de novedad, distinguibilidad, homogeneidad y estabilidad (pruebas DHE) y que presente una denominación genérica adecuada. En Colombia, los derechos del obtentor de variedades de caña de azúcar se protegen hasta por 20 años. La protección de las variedades en otros países depende de las leyes y normas de cada país y de la participación como miembro de la UPOV.

Al 31 de diciembre de 2010, Cenicaña posee los derechos de obtentor de once variedades de caña de azúcar identificadas con la sigla CC y espera el dictamen del ICA a cerca de otras once variedades que al finalizar el año contaban con todas las evaluaciones reglamentarias.

Variedades CC protegidas en Colombia

Estado de la Resolución ICA, al 31 de diciembre de 2010

Variedades con derechos registrados	Variedades en proceso[1]
CC 85-68	CC 92-2804**
CC 84-75	CC 93-4181**
CC 85-92*	CC 01-1228**
CC 87-434*	CC 01-678**
CC 89-2000	CC 97-7170
CC 87-505	CC 00-3079
CC 92-2198	CC 05-940
CC 93-3826	CC 93-3803
CC 93-3895	CC 01-1940
CC 93-4418**	CC 92-2188
CC 93-7510	CC 06-791

1. Pruebas DHE concluidas.
* Variedades protegidas en Ecuador y Perú.
** Variedades en proceso de protección en Ecuador y Perú.

Día de campo sobre riego con caudal reducido
con productores de la Red GTT,
Ingenio Carmelita.

Programa de Agronomía

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

El Programa de Agronomía contribuye a dinamizar la gestión del conocimiento científico y tecnológico en el sector azucarero colombiano a través de iniciativas de investigación básica y aplicada y el desarrollo de innovaciones integradas al sistema productivo de caña, azúcar y etanol, con un enfoque orientado a la adopción de la agricultura específica por sitio como estrategia de desarrollo sostenible.

Los proyectos se llevan a cabo en la Estación Experimental de Cenicaña y en tierras de los ingenios azucareros y los cultivadores de caña, donde se establecen experimentos mediante acuerdos de colaboración y cooperación técnica. También, según los requerimientos del proyecto o los productos esperados, se definen contratos de servicios con empresas especializadas. La financiación proviene de recursos propios de Cenicaña y recursos de cofinanciación de otras entidades obtenidos mediante la atención de convocatorias afines con los objetivos propuestos. En el proceso, a través de diferentes medios y encuentros con los grupos interesados, se comunican y transfieren los resultados parciales y finales de los proyectos adelantados, de modo que en algunos casos surgen nuevas necesidades de investigación, desarrollo o transferencia tecnológica.

En este informe se presenta un resumen de los resultados principales obtenidos en el marco del Plan de investigación agronómica 2006-2010 (ver página 98) y en más detalle, los avances correspondientes a la gestión realizada durante el último año en las áreas de interés prioritario del sector productivo.

Se destacan los avances de las investigaciones en manejo de aguas relacionadas con la función de respuesta de la caña al agua y la función continua de K precisada por la definición del factor de cultivo para siete momentos de desarrollo de la caña. En asuntos relativos al manejo del drenaje, se presentan los avances de un proyecto coordinado por el Ingenio Risaralda con la cooperación técnica de Cenicaña que tiene por objetivo implementar una solución de drenaje con visión regional.

En nutrición y fertilización se describen las observaciones relevantes acerca del nivel freático superficial como un factor físico que limita la productividad en suelos de alta fertilidad. Estas observaciones complementan los resultados de las investigaciones en marcha acerca de los factores determinantes, limitantes o reductores que afectan la producción de caña en las condiciones agroecológicas del valle del río Cauca; los avances muestran la cuantificación de los efectos en producción causados por la compactación del suelo y la sequía prolongada.

Con respecto a los proyectos en mecanización agrícola sobresale el enfoque de sostenibilidad incorporado en las investigaciones, según el cual se observa que las secuencias de labores reducidas propuestas por Cenicaña cumplen las funciones de preparación del suelo y contribuyen a la conservación de los recursos naturales.

En el campo de la geomática, los resultados más importantes se refieren a la definición de un índice de vegetación sensible en la detección del contenido de clorofila y la identificación de las regiones espectrales más sensibles para la diferenciación de dosis de nitrógeno y valores de K.

Finalmente se exponen las conclusiones parciales del estudio acerca de las señales del cambio climático en el valle del río Cauca de acuerdo con la variabilidad espacial de las tendencias de la temperatura y la precipitación determinadas para diferentes escalas de tiempo.

Manejo de aguas

Sistema de medición con registro continuo

En atención a lo dispuesto en el Acuerdo C.D. No. 035 de 2006 de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) sobre la medición y el registro continuo de los caudales de agua utilizados para riego y considerando que los medidores disponibles en el comercio tienen un costo alto y pueden estar expuestos a riesgos de vandalismo y robo, Cenicaña ha coordinado el desarrollo de un sistema de medición de caudal con registro continuo de alta confiabilidad, seguro y de menor costo relativo.

Sistema de medición con registro continuo

En el proceso se evaluaron tres tipos de sensores: resistivo, de presión y de ultrasonido. Con la cooperación técnica de ingenieros electrónicos vinculados a la Universidad del Valle y la firma LYNKS Ingeniería se adelantaron el diseño y la construcción de seis equipos, dos por cada tipo de sensor. Para la selección del producto final, los seis equipos fueron evaluados durante cinco meses en canales abiertos en los ingenios Manuelita, Mayagüez y Riopaila.

El equipo desarrollado está compuesto de un sensor de ultrasonido, un sistema electrónico maestro, una batería con autonomía de ocho días y una memoria micro SD para el almacenamiento de los datos de caudal, con intervalos programables en un rango de tres segundos a un minuto y registro de volumen diario y mensual.

Las características del producto, su modo de operación y las opciones de instalación fueron presentadas a la CVC así como en la Mesa del Agua, donde surgieron propuestas de desarrollo de un módulo de telemetría para la adquisición remota de los datos usando la red celular GSM y el uso de celdas solares o corriente eléctrica como fuentes de energía de la batería.

Curva de K para precisar la programación de los riegos

El factor K permite calcular la evapotranspiración actual del cultivo (Et) a partir de la evaporación medida en el tanque clase A (Ev), Et = K x Ev. Cenicaña ha encontrado dos valores de K, así: K=0.3 para cañas menores de 4 meses y K=0.7 para edades entre 4 y 10 meses. La Et participa en el balance hídrico, método de programación de los riegos con resultados de alto impacto económico y ambiental porque se logra disminuir el número de riegos por ciclo de cultivo de 8 a 4, en promedio.

Sin embargo, resulta necesario encontrar los valores de K como función continua de la edad a fin de mejorar la precisión en la programación y aplicación de los riegos, con lo cual aumenta la eficiencia en el uso del agua, disminuyen los costos de riego y mejoran la rentabilidad y la sostenibilidad del sector.

En los ingenios Manuelita (variedad CC 85-92, zona agroecológica 11H0), Providencia (CC 85-92, zona 30H0) y Mayagüez (CC 93-3895, zona 11H1) se realizaron tres experimentos con tres tratamientos de función de K y tres repeticiones en un diseño de bloques al azar, con parcelas de 12 surcos de 130 metros de longitud.

Como resultado de los experimentos se encontró la función de K para programar con mayor precisión los riegos mediante el balance hídrico, así: K=0.3 de 1-3 meses, K=0.4 de 3-4 meses, K=0.6 de 4-5, K=0.7 de 5-6, K=0.8 de 6-8, K=0.7 de 8-9 y K=0.6 de 9-10 meses (Figura 21). Estos valores de K serán incorporados en el programa de Balance Hídrico desarrollado por Cenicaña.

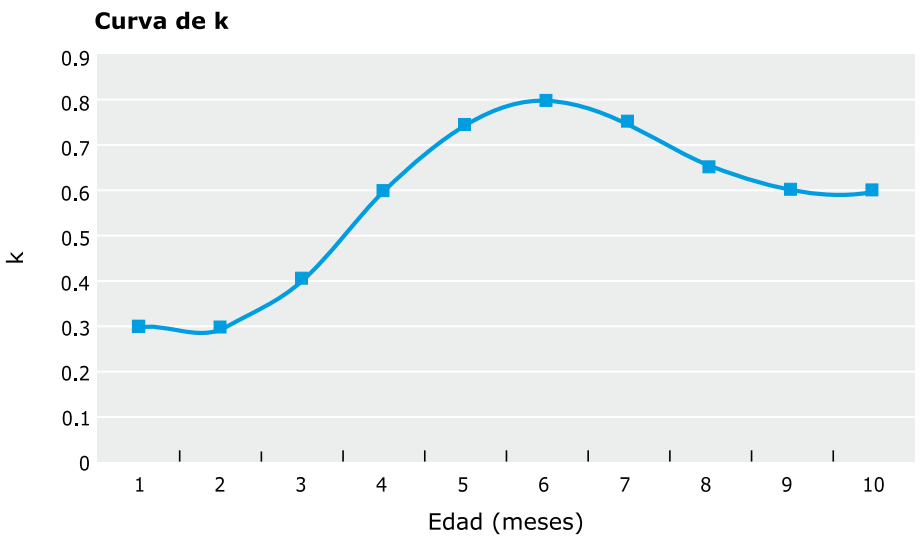


Figura 21. Curva de k encontrada de acuerdo con la edad de la caña.

Respuesta al agua de la variedad CC 93-4418

El conocimiento sobre la respuesta de la caña al agua es necesario para disminuir los costos del riego, labor que representa aproximadamente el 30% de los costos de campo.

En la Estación Experimental de Cenicaña se continuó con el desarrollo del experimento de respuesta de la caña al agua con la variedad CC 93-4418, en un lote con influencia de las zonas agroecológicas 6H1 (suelo Cantarina, Pachic Vertic Haplustoll, familia fina) y 23H1 (suelo Refugio, Entic Hapluster, familia arcillosa sobre arenosa).

Durante la primera soca se presentó un período seco entre los cuatro y los siete meses de edad del cultivo, en el cual se realizaron 11 eventos de riego por goteo de un total de 15 eventos. Entre los siete y los nueve meses se presentaron lluvias mayores de 100 mm/mes, con presencia del nivel freático durante todo el ciclo de cultivo a profundidades menores de 100 cm, por lo cual el aporte capilar se involucró en las láminas de agua recibidas por el cultivo en el ciclo de 13 meses; estas láminas estuvieron entre 917 mm y 1087 mm, que corresponden a una situación de balance de humedad deficitario, con productividades crecientes entre 116 TCH y 167 TCH, como se observa en la parte izquierda de la Figura 22.

Esta información complementa el comportamiento de la variedad observado en condiciones de exceso de humedad en la plantilla (derecha de la curva, Figura 22), cuando el nivel freático estuvo entre 30-70 cm de profundidad durante el ciclo de cultivo, situación que se reflejó en descensos de productividad hasta de 80 TCH. De acuerdo con las conclusiones de este proyecto de investigación, se recomienda estudiar la respuesta de la variedad CC 93-4418 con láminas en el rango de 1100 mm y 1600 mm, que podría ser la región de máxima productividad de la variedad.

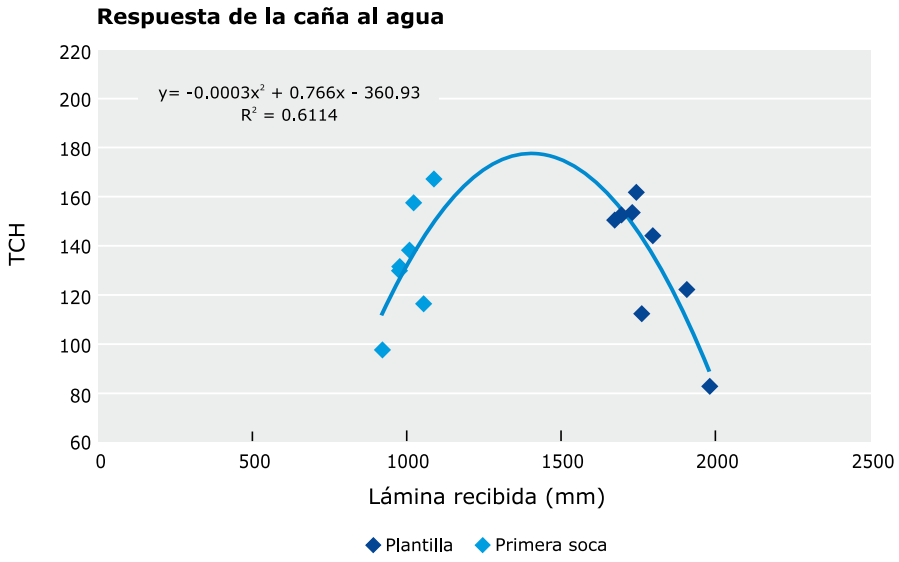


Figura 22. Respuesta al agua de la variedad CC 93-4418.

Riego con caudales reducidos: una opción para el piedemonte

Para el manejo del riego de la caña de azúcar cultivada en el piedemonte se debe tomar en cuenta la presencia de suelos superficiales con alto contenido de piedra, los bajos caudales de las fuentes de agua superficiales disponibles, los altos costos del riego por aspersión y los riesgos de erosión por las pendientes pronunciadas, mayores del 3%. Con el fin de contribuir a superar estas dificultades, Cenicaña ha desarrollado la tecnología del riego con caudales reducidos para el cultivo de la caña de azúcar en el piedemonte.

Dentro del proyecto "Riego con caudales reducidos: una opción para el piedemonte", cofinanciado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, se cosechó la primera soca del experimento con la variedad CC 84-75 en la hacienda Los Ranchos, donde se evalúan los tratamientos de riego con caudal reducido por surco continuo, surco alterno y surco alterno-alterno, riego por aspersión y un testigo sin riego. Los suelos corresponden a las zonas agroecológicas 22H0 (suelo Acuario, Typic Haplustoll, familia esquelética francosa) y 27H1 (suelo Italia, Typic Argiustoll, familia arcillosa sobre esquelética arcillosa).

En el Cuadro 9 se muestran los resultados obtenidos en plantilla y primera soca. En general se presentó un incremento en el tonelaje en el testigo sin riego y en los tratamientos de caudal reducido. Las mejores respuestas en plantilla se consiguieron con las modalidades de surco alterno y surco alterno-alterno, resultados que se confirmaron en la primera soca cuando el tonelaje más alto se registró en las parcelas regadas por surco alterno. Con estas modalidades de distribución del agua en los surcos se aplicaron valores de agua cercanos a la mitad de los utilizados en surco continuo. Los gastos de agua se incrementaron en el segundo corte con respecto al primero, debido posiblemente a la labor de subsuelo profundo que acostumbra realizar el ingenio en estos suelos y que causó demoras en el avance del agua en los primeros riegos.

Actualmente se está probando el riego con caudal reducido en zonas de la parte plana del valle del río Cauca, así como el fertirriego en el piedemonte.

Cuadro 9. Registros de cosecha (plantilla y primera soca), hacienda Los Ranchos, suerte 60. Experimento de riego con caudal reducido.

Tratamiento		Plantilla			Primera soca		
		Número de riegos	Volumen total aplicado (m^3/ha)	TCH*	Número de riegos	Volumen total aplicado (m^3/ha)	TCH*
Testigo sin riego		0	0	105c	0	0	114b
Aspersión		3	4527	118b	4	4781	118b
Caudal reducido	Surco continuo	7	9480	131a	6	10,110	132a
	Surco alterno	7	4436	127ab	6	5670	131a
	Surco alterno-alterno	7	4458	129ab	6	5368	135a
C.V. (%)				5.8			4

* TCH: Toneladas de caña por hectárea. Los valores con letras iguales en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas (5%).

Evaluación del sistema de riego por pivote central

En las haciendas Josepilla y Malimbú, donde el riego representa el 50% del costo total de producción de caña y los caudales disponibles son bajos, se inició la evaluación del riego por pivote central, sistema por aspersión de movimiento circular alrededor de un punto estático que se conecta al suministro de agua, el cual puede ser menor de 60 l/s. Se considera un sistema de bajo consumo de energía y la inversión inicial es menor que la del riego por goteo.

Ambas haciendas están localizadas en la zona de precipitación más baja (700-800 mm/año) del valle del río Cauca, donde se encuentran Mollisoles de infiltración moderada a alta y fertilidad alta.

En las observaciones preliminares, recién iniciada la evaluación, la eficiencia de aplicación ha sido de 86% y el coeficiente de uniformidad de 84%, valores que se pueden mejorar con ajustes en la operación.

El trabajo continuará con las evaluaciones agronómicas de desarrollo del cultivo y las evaluaciones hidráulicas de acuerdo con la programación del riego por balance hídrico.

Mejoramiento del drenaje con enfoque regional

Las investigaciones sobre drenaje realizadas por Cenicaña han mostrado que la producción de caña se disminuye hasta en 35 t/ha si el nivel freático se mantiene a menos de 70 cm de profundidad.

Por iniciativa del Ingenio Risaralda, durante 2010 se continuó el proyecto para mejorar el drenaje en la zona centro del Ingenio, localizada en el municipio de la Virginia, departamento de Risaralda, en 1300 hectáreas donde se encuentran 27 haciendas y 298 suertes de caña. La precipitación media anual oscila entre 1500 mm y 2000 mm y los suelos son de textura fina, pobremente drenados. Las zonas agroecológicas que se encuentran son: 5H5, 8H4, 11H4 y 25H5. La productividad media de caña es de 120 t/ha, con una disminución entre 7 y 35 t/ha debido al mal drenaje.

El enfoque que se le ha dado al proyecto es regional y por ello se instaló una red de 42 pozos de observación con cobertura en las 1300 hectáreas. Se identificaron las microcuencas y las áreas críticas de drenaje y se recomendaron soluciones para implementarlas en varias etapas. En la primera etapa se deben realizar trabajos de profundización de zanjones y colectores y construir compuertas de chapaleta y estaciones de bombeo en el río Cauca en las microcuencas 1 y 2. En 45 suertes de 12 haciendas se recomendó construir drenes topo en la dirección de los surcos.

El presupuesto de los trabajos se expuso a los propietarios de los predios involucrados, quienes autorizaron al Ingenio Risaralda para que adelante las obras y les deduzca los costos de acuerdo con el área de influencia según el caso. Cenicaña continuará prestado apoyo técnico en el desarrollo del proyecto.

El enfoque de drenaje regional se aplicará en otras áreas afectadas por excesos de humedad como estrategia para aumentar la productividad del sector agroindustrial.

Nutrición y fertilización

Variabilidad espacial de algunos parámetros del suelo y el cultivo y su relación con la productividad

El conocimiento detallado de la variabilidad espacial y temporal de los parámetros del suelo y su efecto sobre el desempeño agronómico de la caña de azúcar es necesario para realizar agricultura específica por sitio y posteriormente agricultura de precisión.

En el experimento de manejo residuos del corte en verde establecido hace once años en la Estación Experimental de Cenicaña se evalúa el efecto de tres cargas de residuos que son: retiro de los residuos, cantidad normal de residuos y carga doble de residuos. En este sitio experimental se ha recolectado información sobre parámetros físico-químicos del suelo y variables agronómicas del cultivo.

Con la información de las variables de suelo se hicieron mapas geoestadísticos para conocer su distribución espacial y su relación con la respuesta agronómica del cultivo. Al mapear la distribución espacial de las fracciones de arcilla, limo y arena se notó una gran variabilidad espacial textural dentro del lote experimental.

En el mapa de distribución de arcillas se encuentra un área de contenido alto (54.8-58.5%) que concuerda con áreas de contenidos altos de calcio, Ca (28.6-30.6 cmol/kg) y potasio, K (0.52-0.56 cmol/kg), lo que es de esperar ya que al haber mayor contenido de arcillas hay mayor retención de cationes en el complejo de cambio.

En el área de contenido alto de arcillas se observa un contenido alto de materia orgánica, MO (3.92-4.21%), lo que se explica por la mayor retención de humedad y menor aireación debido a la mayor porosidad causada por el alto contenido de arcillas que conlleva menor oxidación de la MO. En esta área se observó alta productividad (129-197 TCH) durante los ciclos de cultivo con comportamiento normal de la precipitación, mientras que en ciclos con exceso de precipitación el potencial productivo se vio limitado (110-152 TCH) por la menor aireación y la presencia de nivel freático superficial (40 cm). Este hecho deja claro que no sólo se deben tener en cuenta las características químicas sino también los limitantes físicos que, como es el caso del nivel freático superficial, restringen la alta productividad de una zona a pesar de que ésta presente una alta fertilidad química.

En el lote experimental se realizan en cada ciclo del cultivo tres evaluaciones de la población de tallos a los 3, 4.5 y 6 meses después del corte. Al hacer los mapas geoestadísticos de la población de tallos por hectárea se encontró que durante el tercero y el sexto corte el efecto del retiro o no de los residuos sobre la población de tallos por hectárea fue muy evidente. A los seis meses después del sexto corte se observó la más alta población de tallos por hectárea (98,000-117,000) en la zona donde se retiraron los residuos de cosecha, valores intermedios (79,000-98,000) en la zona con cantidad sencilla de residuos y valores inferiores (53,000-79,000) en la zona con doble cantidad.

El aumento de la población de tallos en la zona libre de residuos no indujo incremento de la productividad. La mayor productividad del área experimental (158-177 TCH) se observó en la zona arcillosa, donde a pesar de haber menor población de tallos la altura de éstos al momento de la cosecha fue mayor (292-315 cm) que en el área sin residuos (256-286 cm).

Las observaciones descritas han permitido adquirir mayor conocimiento de los factores físico-químicos que afectan la productividad de la caña de azúcar en este sitio experimental. Se debe tener en cuenta que las observaciones son puntuales y que la sostenibilidad del sistema debe ser analizada a largo plazo.

Efecto de la aplicación de compost en la productividad

Los subproductos o residuos que resultan de los procesos de producción de azúcar y etanol incluyen los residuos de cosecha, el bagazo, la cachaza, los lodos, las cenizas y la vinaza. Como subproducto de la destilación de etanol se produce un gran volumen de vinaza; una parte de la vinaza es aplicada directamente al campo como fertilizante potásico para reemplazar el cloruro de potasio (KCl) y la otra es compostada junto con la cachaza en las plantas de compostaje que operan en los ingenios.

El proceso de compostaje acelera los procesos de descomposición, mineralización y humificación de la mezcla de cachaza, lodos y vinaza, lo que permite, después de su aplicación en campo, la disponibilidad expedita de los nutrimentos para el cultivo y contribuye al mejoramiento de las características físico-químicas del suelo debido al aporte de sustancias húmicas o en proceso de serlo.

Para evaluar el efecto de la aplicación de compost sobre la producción del cultivo y las características del suelo se establecieron cuatro experimentos en diferentes zonas agroecológicas. Los experimentos constan de 18 tratamientos que incluyen cinco dosis crecientes de compost (0-20 t/ha) combinadas con la dosis recomendada de N, P y K y disminuciones de la dosis recomendada en 20% y 40%.

Aplicación de compost en el Ingenio Mayagüez. Día de campo con productores de la Red GTT.

Los resultados en plantilla en uno de los sitios experimentales (suelo Fluvaquentic Eutrudept, zona agroecológica 8H5, Ingenio Risaralda) muestran una tendencia ($p<10\%$) de mayores TCH en los tratamientos con compost y fertilizante en comparación con los tratamientos con sólo fertilizante.

La aplicación de compost en una dosis de 5 t/ha y con el 100% de la dosis de fertilizante recomendada (NPK= 115-64-60) produjo incremento significativo de 5 t/ha en TAH sobre los tratamientos con solamente fertilizante y sin aplicación de compost. En este sitio se observó que la variable contenido de cinc, Zn en el suelo, resultó ser una covariable altamente significativa ($p<0.0001$) que permitió ajustar el análisis estadístico. La importancia agronómica del Zn radica principalmente en que es un elemento involucrado en la síntesis de las hormonas de crecimiento denominadas auxinas. La deficiencia de estas hormonas afecta entre otras variables el desarrollo vegetativo de las plantas y, en el caso de la caña de azúcar, afecta el alargamiento de entrenudos y por consiguiente la capacidad de almacenamiento de sacarosa en los tallos. La experimentación en este sitio se mantendrá al menos durante cinco cortes.

Factores que afectan la producción de caña

El conocimiento de los procesos que intervienen en el desarrollo de la planta y de los factores que afectan la producción permite, mediante el modelamiento, explicar y anticipar las variaciones en la producción y ayuda a los técnicos y a los agricultores a tomar mejores decisiones. El modelamiento permite además identificar los vacíos de información y las necesidades de investigación para entender y explicar las variaciones en la producción debido a factores determinantes, limitantes y reductores que inciden en el desarrollo y la producción del cultivo.

Cenicaña ha venido estudiando los factores limitantes de la producción con el propósito de incorporar este conocimiento a un modelo de simulación del crecimiento del cultivo y la producción de caña y sacarosa basado en procesos simplificados, que tenga en cuenta la relación agua-suelo-planta-ambiente y pueda ser usado para las condiciones ambientales y las variedades de caña locales a fin de mejorar el entendimiento de las variaciones en productividad.

La compactación del suelo como factor limitante de la producción se está evaluando en un experimento que se realiza en la Estación Experimental de Cenicaña. Durante la cosecha de la segunda soca de la variedad CC 85-92 se midieron disminuciones en la producción de caña de 25 y 14 t/ha en los tratamientos con niveles alto y medio de compactación respectivamente, al compararlos con el nivel bajo de compactación del suelo que tuvo una producción de 129 t/ha.

En este experimento también se pudo cuantificar el efecto limitante en la producción como consecuencia de la sequía provocada por el fenómeno de “El Niño”. En los tres tratamientos, la disminución en la producción de caña con respecto al corte anterior estuvo alrededor de las 40 t/ha en este sitio en particular, a pesar de que se aplicaron cinco riegos durante el ciclo de cultivo, pero que no fueron suficientes para recuperar las reservas de agua del suelo, agotadas por la prolongada sequía.

La identificación y cuantificación de estos factores limitantes de la producción es importante para validar en su momento cualquier modelo que se vaya a utilizar como herramienta que ayude en la toma de mejores decisiones en el sector agroindustrial de la caña de azúcar y permita reducir la brecha existente entre la productividad real y la potencial.

Maduración de la caña de azúcar

La maduración de la caña de azúcar consiste en un aumento de la cantidad de sacarosa almacenada en los tallos, lo cual es posible mediante la interacción de factores fisiológicos y ambientales que permitan una alta producción de azúcar como resultado del proceso de fotosíntesis pero que, al mismo tiempo, no conlleven un consumo alto de las reservas de sacarosa para satisfacer los requerimientos energéticos que demanda la misma planta para su crecimiento. En otras palabras, el crecimiento y la maduración son procesos antagónicos y mientras haya factores ambientales estimulando el crecimiento de la planta, la cantidad de sacarosa recuperada al momento de la cosecha será baja.

En el valle del río Cauca, donde se cosecha caña a lo largo de todo el año, es normal encontrar buena disponibilidad de humedad, buena fertilidad del suelo y temperaturas adecuadas que favorecen el crecimiento aún durante el período de maduración, a diferencia de muchos otros lugares en el mundo en donde se cultiva caña, en los cuales se cosecha solamente durante el período de zafra que normalmente corresponde a una época seca y de temperaturas bajas, factores que frenan el crecimiento y favorecen la maduración de los tallos. Por las razones expuestas anteriormente, los maduradores que actúan como reguladores de crecimiento han sido los de mayor efectividad en el valle del río Cauca. No obstante, Cenicaña ha mantenido una búsqueda permanente de alternativas para inducir la maduración de la caña de azúcar mediante mecanismos diferentes a la regulación del crecimiento, tratando de influir en algunos de los procesos fisiológicos de la planta para mejorar la producción, el transporte y el almacenamiento de la sacarosa.

Evaluación de productos maduradores

Cenicaña ha evaluado una gran cantidad de fertilizantes foliares con altos contenidos de potasio y fósforo, debido a que a estos dos nutrimentos se les atribuyen funciones importantes en la planta en relación con los procesos de síntesis, desplazamiento y almacenamiento de azúcares.

En el último año se realizaron cuatro experimentos en los cuales se evaluaron el K-Fol® y el Cosmomadurador®, que en evaluaciones anteriores habían mostrado algún efecto madurador al incrementar la sacarosa ligeramente por encima del testigo sin aplicación, aunque con resultados muy distantes de los obtenidos con los reguladores de crecimiento. Los productos se evaluaron en diferentes dosificaciones, con volúmenes de mezcla mayores a los usados con los reguladores de crecimiento y en diferentes épocas de aplicación; incluso algunos tratamientos incluían dos aplicaciones de estos productos al mismo cultivo para determinar si se podía contribuir a mejorar su eficacia.

En los experimentos se incluyeron también algunos productos nuevos o que habían sido evaluados en pocas oportunidades como Madurplant®, AgrofosK-M®, Brixxer®, Bzucar®, Biomadurador® y Fosfato de potasio®, los cuales se evaluaron en menor intensidad que el K-Fol® y el Cosmomadurador®.

Ninguno de los tratamientos evaluados en estos experimentos mostró incremento de la sacarosa con respecto al testigo sin aplicación. Todos los experimentos coincidieron con épocas de altas precipitaciones, lo cual indica que los productos que no regulan el crecimiento no tienen efecto madurador en condiciones de alta disponibilidad de humedad durante el período de maduración de la caña de azúcar.

Mecanización agrícola

Beneficios ambientales de las secuencias de preparación con labores reducidas

El proyecto de secuencia de labores tiene como objetivo primario la búsqueda de sistemas de labranza eficaces que reduzcan el manipuleo del suelo y los costos de preparación. Se basa en la aplicación de los principios de la sostenibilidad en las labores de renovación de plantaciones de caña y levantamiento de socas, a partir de lo cual se proponen sistemas alternos con enfoque conservacionista en el uso de los recursos comprometidos.

Los países productores de caña azucarera emplean para el cultivo recursos naturales en gran escala, especialmente suelo, energía fósil y agua de riego. Los consumos de energía fósil se han incrementado con el uso de grandes máquinas que, aunque son de alta capacidad de campo, pueden comprometer la condición del suelo en el tránsito sobre la superficie.

Día de campo con productores de la Red GTT, Ingenio Sancarlos.

Los métodos de labranza deben ser eficaces para que el uso de la energía sea más efectivo: que además de ahorro signifique conservación de recursos.

En Colombia, los sistemas convencionales de preparación para la renovación de plantaciones emplean entre 8 y 9 labores y transmiten al suelo entre 1200-1500 MJ por hectárea, distribuidos principalmente en descepada, labranza profunda y reducción del tamaño de los agregados; una pequeña fracción se utiliza para el surcado.

Es un consumo de energía alto que cumple con las funciones básicas de roturación y desagregación del suelo, pero además incrementa las posibilidades de erosión, induce compactación en el subsuelo por el pase repetido de máquinas y, a través del tiempo, tiene repercusión en las propiedades químicas y biológicas del suelo.

De acuerdo con los resultados de seis experimentos establecidos en cooperación con los ingenio Manuelita, Mayagüez, Riopaila Castilla y Sancarlos, Cenicaña ha propuesto secuencias alternativas con menor número de labores y menor costo. En algunos sitios experimentales se alcanzaron altas producciones con cantidades de energía trasmitida al suelo en el rango de 800-850 MJ/ha.

Las secuencias de labores reducidas, además de disminuir la energía transmitida al suelo, representan menor consumo de combustible y menor cantidad de emisiones desde las fuentes de potencia.

El consumo de energía proveniente de fuentes fósiles para la renovación de plantaciones de caña por métodos convencionales de preparación fluctúa entre 7900-9300 MJ/ha; con los métodos de preparación basados en labores reducidas se han alcanzado producciones similares con consumos energéticos entre 5400-5650 MJ/ha.

Las emisiones desde las fuentes de potencia también son un indicador de los beneficios del laboreo reducido para el establecimiento de plantillas. En las ocho o nueve labores de los métodos convencionales se emiten a la atmósfera entre 2.2 t/ha y 2.5 t/ha de productos de combustión. A través de las secuencias reducidas propuestas, las emisiones bajan a un rango entre 1.3 t/ha y 1.6 t/ha, lo cual implica hasta 40% de reducción de emisiones.

Cenicaña recomienda el uso de prácticas sostenibles que incluyan alternativas de labranza adaptadas a los requerimientos actuales de las relaciones entre la productividad y los compromisos ambientales y sociales.

Geomática

Monitoreo del cultivo por medio de percepción remota

La percepción remota (PR) o teledetección se define como la ciencia de adquirir información espectral de los cuerpos sin entrar en contacto físico con ellos. Para el efecto se utilizan sensores aéreos y satelitales y espectrorradiómetros. Mediante el análisis espectral de la información registrada con estos instrumentos es posible estimar los parámetros biofísicos principales que se consideran indicadores del estado vegetativo de un cultivo.

Cenicaña, con la cofinanciación de Colciencias, está caracterizando la respuesta espectral de la caña de azúcar a diferentes tratamientos de fertilización, riego y maduración. Para estimar el estado vegetativo de la caña de azúcar se debe hacer una selección adecuada de las regiones espectrales en el dominio del visible (400-700 nm) y del infrarrojo cercano y el medio (700-2500 nm).

De acuerdo con la experimentación, las regiones espectrales más sensibles para la diferenciación de dosis de nitrógeno se encuentran entre 693-710 nm y las más sensibles para la diferenciación de valores del factor K se encuentran entre 630-705 nm.

Con el fin de determinar un índice de vegetación sensible en la detección del contenido de clorofila, se evaluaron distintos índices referenciados en la literatura. En la evaluación sobresalió el índice desarrollado por Gitelson *et al*. (2003); este índice fue modificado por Cenicaña y mostró la mejor correlación (R^2=0.67) y el error medio cuadrático más bajo (RMSE= 0.19 g/m^2) con el contenido de clorofila en el follaje, el cual fue estimado a partir de mediciones en campo del índice de área foliar y la clorofila indirecta.

Este índice modificado se puede usar para la estimación y validación del contenido de clorofila en el follaje como un indicador del vigor y la salud de la caña de azúcar. Actualmente existen imágenes satelitales de costo razonable y adecuada resolución espacial, espectral y temporal, a partir de las cuales se puede hacer la validación espacial del índice de vegetación generado por Cenicaña y estimar otras variables biofísicas para el seguimiento del estado vegetativo del cultivo.

Mediante el uso de la percepción remota es posible detectar la distribución espacial de anomalías dentro de un terreno de cultivo y estimar parámetros biofísicos como la clorofila, el índice de área foliar y la biomasa que pueden emplearse en modelos de crecimiento para realizar pronósticos de producción basados en la simulación y la respuesta espectral del cultivo.

Uso potencial de una plataforma aérea no tripulada

El uso de aviones, helicópteros, globos y cometas como plataformas aéreas no tripuladas para adquirir información digital a baja altura y de alta resolución mediante percepción remota es creciente a nivel mundial, fundamentalmente debido a la flexibilidad temporal y a los costos relativamente bajos de operación.

Este tipo de tecnologías se están utilizando con éxito en cultivos de maíz, trigo, olivo y soya y ofrecen diversas oportunidades de generación de información para la toma de decisiones en caña de azúcar y agricultura específica por sitio, de acuerdo con el potencial productivo de cada sitio de cultivo.

Con el apoyo de Colciencias, en el marco del proyecto AEPS, Fase IV, Cenicaña adquirió el primer prototipo de plataforma aérea no tripulada diseñado y desarrollado exclusivamente con fines agrícolas, de fácil operación en las zonas del valle del río Cauca sembradas con caña de azúcar.

Este avión tiene una capacidad de carga útil para dos cámaras digitales (RGB+NIR) y está equipado con un sistema de transmisión y un GPS, de modo que su posición puede ser ubicada sobre la cartografía de la zona continuamente, en tiempo real.

El equipo será integrado en diferentes proyectos de investigación para determinar los frentes potenciales de aplicación.

Servicio de estación base GPS para el sector azucarero

Para mejorar la precisión de las coordenadas geográficas que manejan los usuarios de los sistemas portátiles de GPS, Cenicaña instaló una estación base de referencia ubicada en un punto fijo, con coordenadas geográficas precisas, que a través de un aplicativo de tecnología informática proporciona datos confiables para la corrección diferencial de los datos tomados con los equipos portátiles.

Los datos son registrados durante las 24 horas del día y pueden ser consultados a través del sitio web de Cenicaña donde se publican en fracciones horarias con intervalos de dos segundos, en formato SSF y comprimidos en archivos .zip. Se puede acceder al servicio de la estación base GPS a través del Sistema de Información AEPS disponible en <www.cenicana.org/aeps/index.php>

Meteorología y climatología

Búsqueda de señales de cambio climático en el valle del río Cauca

El cambio climático y sus efectos son una realidad y se vienen manifestando de múltiples maneras. Cenicaña está trabajando en la identificación de señales de cambio climático en el valle del río Cauca a partir de datos de las principales variables climatológicas y el análisis de su comportamiento en diferentes escalas de tiempo (décadas, meses, trimestres, semestres, años). El objetivo es calcular los indicadores climatológicos necesarios para detectar señales de cambio climático en la región y efectuar el análisis del comportamiento y la variabilidad espacial de las tendencias de temperatura y precipitación que se encuentren.

El proyecto comenzó con el análisis de los registros meteorológicos diarios de 14 estaciones (una convencional y 13 automáticas) que cuentan con más de 15 años información.

Los resultados de la investigación concuerdan con las conclusiones de los grupos de trabajo del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático en su Cuarto Informe de Evaluación (IPCC, 2007) y con los resultados de la investigación sobre evidencias del cambio climático en Colombia publicada por el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam (Bedoya *et al*., 2010).

Según estos resultados, en el valle del río Cauca se observan las siguientes tendencias de la precipitación y la temperatura, variables climatológicas identificadas por el IPCC como fundamentales dentro de los indicadores del cambio climático.

- **Precipitación**: En la mayor parte del valle del río Cauca esta variable presenta tendencia a la disminución durante el primer trimestre y tendencia al aumento en el segundo y cuarto trimestres. De modo localizado se observa que las mismas tendencias ocurren en el tercer trimestre en las partes centro y sur del valle (disminución) y en la parte norte (aumento).

- **Número de días con precipitación**: Tendencia generalizada a disminuir durante el primer trimestre y a aumentar en el tercero y el cuarto trimestres, con más días lluviosos en el centro y el norte de la región. En el segundo trimestre también se observan valores decrecientes de esta variable en las zonas norte y sur.
- **Temperatura**: La tasa media de calentamiento en todo el valle del río Cauca, según la tendencia de la temperatura media del aire, presenta un aumento de 0.1 °C por decenio.
- **Temperatura máxima media**: Tiende a aumentar en todo el valle del río Cauca a una tasa de 0.3 °C en promedio por decenio.
- **Temperatura mínima media**: No muestra una tendencia general para toda la región. De acuerdo con el análisis de las series históricas, en nueve estaciones se registra una tasa media de aumento de 0.2 °C por decenio, mientras que en cinco estaciones el valor de esta variable disminuye a una tasa de 0.1 °C por decenio.
- **Oscilación media diaria de temperatura**: Presenta una tendencia generalizada a aumentar a razón de 0.2 °C por decenio.

La búsqueda de señales de cambio en el régimen climático del valle del río Cauca es un proceso que debe ser continuo y sistemático, con el fin de fortalecer la capacidad de análisis, la toma de decisiones y la gestión productiva estratégica en la región. El régimen climático es un factor bastante complejo, determinante de muchos otros elementos y procesos, tales como la formación de los suelos, el relieve y el paisaje, la modulación del ciclo hidrológico y el tipo de vegetación que crece en un territorio; influye directamente en la agricultura y, en general, afecta la sostenibilidad regional, por cuenta de su incidencia en factores de orden ambiental, económico y social.

En los dos últimos años, 2009-2010, las anomalías del clima en el valle del río Cauca han mostrado particularidades históricas definidas por valores extremos de las principales variables atmosféricas y diferencias temporales muy marcadas entre meses y entre temporadas con respecto a lo acostumbrado.

Estas señales de cambio en el régimen climático ponen de manifiesto la importancia de los principios de la sostenibilidad en los objetivos de productividad y competitividad de la agroindustria colombiana de la caña de azúcar. La probabilidad de que el sector productivo tenga que enfrentar eventos posiblemente más extremos y, a la vez, más frecuentes, exige retos científicos y tecnológicos y capacidad de adaptación de los agricultores al cambio climático.

Calendario de temporadas secas y lluviosas

En forma general, tradicionalmente se dice que el clima del valle del río Cauca se caracteriza por un régimen bimodal de la precipitación atmosférica, consistente en la sucesión intercalada de dos temporadas lluviosas (abril-mayo y octubre-noviembre) y dos temporadas secas (enero-febrero y julio-agosto), mientras que marzo, junio, septiembre y diciembre son considerados meses de transición.

Dado que la información climatológica es una herramienta indispensable de apoyo para la toma de decisiones en la programación y realización de las labores agrícolas de cualquier cultivo y con el fin de precisar el momento real de inicio y finalización de las temporadas secas y lluviosas y de los períodos de transición que se presentan en el valle del río Cauca, se analizó la información diaria de precipitación de 14 estaciones meteorológicas de la RMA que cuentan con más de 17 años de información y que cubren racionalmente el valle del río Cauca. La metodología utilizada para ajustar el calendario pluviométrico anual consistió en el análisis detallado para cada estación meteorológica y para cada semestre de cada uno de los 17 años (28 años para la estación Cenicaña) de las fechas de inicio y final del período de sesenta días consecutivos durante el cual se registraran, en promedio, la menor y la mayor cantidad de precipitación acumulada, respectivamente.

Se presentan a continuación los resultados de dicho análisis, los cuales muestran claramente que las temporadas secas y lluviosas ajustadas (nuevas temporadas) las constituyen prácticamente los dos meses centrales de las correspondientes temporadas tradicionales, con un determinado retraso o adelanto respecto a las fechas de inicio o finalización de estas últimas. Así, el calendario ajustado de temporadas secas y lluviosas en el valle del río Cauca queda de la siguiente forma:

- **Primera temporada seca o de comienzos de año**: Inicia el 16 de diciembre y se prolonga por 62 días, hasta el 15 de febrero. Se adelanta 15 días respecto al comienzo de los dos meses centrales de la temporada tradicional (enero-febrero). El período de transición hacia la primera temporada lluviosa aumenta de 30 días a 40 días.
- **Primera temporada lluviosa o del primer semestre del año**: Comienza el 26 de marzo y se extiende por 61 días, hasta el 25 de mayo. Se adelanta cinco días respecto al inicio los dos meses centrales de la temporada tradicional (abril-mayo). El período de transición hacia la segunda temporada seca disminuye de 30 días a 20 días.
- **Segunda temporada seca o de mitad de año**: Inicia el 16 de junio y se prolonga por 61 días, hasta el 26 de agosto. Se adelanta 15 días respecto al inicio de los dos meses centrales de la temporada tradicional (julio-agosto). El período de transición hacia la segunda temporada lluviosa aumenta de 30 a 50 días.
- **Segunda temporada lluviosa o del segundo semestre**: Comienza el 6 de octubre y se extiende por 61 días, hasta el 5 de diciembre. Se retrasa cinco días respecto al inicio de los dos meses centrales de la temporada tradicional (octubre-noviembre). El período de transición hacia la primera temporada seca del año se reduce de 30 días a 10 días.

Este trabajo deberá continuar para involucra otras estaciones meteorológicas y pluviómetros que cuenten con información diaria de precipitación de por lo menos 20 años.

Plan de investigación agronómica 2006-2010

Durante el año 2005, con la participación de representantes de los ingenios azucareros y los productores de caña se llevaron a cabo una serie reuniones con el objetivo concreto de facilitar la discusión experta acerca de la orientación de la investigación agronómica en el sector azucarero colombiano con miras al 2010.

De acuerdo con las necesidades de innovación tecnológica en las unidades productivas y el interés del sector azucarero en la AEPS como estrategia para el desarrollo sostenible de las tierras dedicadas al cultivo, Cenicaña formuló el Plan de investigación agronómica 2006-2010.

Junto con el plan de investigación, el Programa de Agronomía adelantó otros proyectos con resultados fundamentales para el desarrollo actual de la AEPS y la evolución de los sistemas de cultivo y cosecha, entre ellos: (1) Las metodologías para la definición de los Grupos Homogéneos de Suelos y los Grupos de Humedad, a partir de los cuales se caracterizan las zonas agroecológicas para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación); (2) Evaluaciones que muestran respuesta de la caña de azúcar al drenaje; (3) Determinaciones de la compactación del suelo causada por equipos de labranza y cosecha y sus efectos en productividad; (4) Guía metodología para la evaluación de los sistemas de cosecha de caña en el valle del río Cauca y capacitación al respecto.

Los productos más importantes de los proyectos relacionados con el plan de investigación agronómica se resumen a continuación.

Riego y uso eficiente del agua

Función de respuesta de la caña al agua y rentabilidad del riego

- Aproximaciones sucesivas de la función de respuesta de la caña al agua mediante curvas de TCH estimadas con las variedades CC 85-92 y CC 93-4418 en suelos francos.
- Evaluación económica de la rentabilidad del riego en relación con la respuesta de las variedades en producción.

Balance hídrico y programación del riego

- Definición de la función continua de K en caña de azúcar, a partir de valores calculados con las variedades CC 85-92 y CC 93-3895 en siete momentos del ciclo de cultivo, entre el primer mes de edad y hasta el décimo.
- Determinación de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) de 71 suelos identificados en el estudio detallado, los cuales ocupan 143 mil hectáreas en el valle del río Cauca (66% del área en caña).

Estructuras de aforo

- Cooperación técnica en el diseño, construcción y validación de un equipo de registro continuo desarrollado con tecnología de sensores de ultrasonido para la medición del caudal en canales abiertos, complementado con un sistema electrónico maestro, una batería con autonomía de ocho días y una memoria micro SD.

Riego por goteo

- Evaluación económica del sistema de riego por goteo en zonas secas con resultados que muestran la oportunidad de reducir los costos de riego en 40% sin afectar la productividad, con un tiempo de recuperación de la inversión de cuatro años y una tasa interna de retorno de 23%. La ventaja relativa en costos fue estimada con base en un sistema de riego por gravedad, en instalaciones a escala comercial.
- Definición de la frecuencia semanal para la programación del riego por goteo.
- Recopilación de experiencias acerca del manejo del sistema de riego por goteo en caña de azúcar en zonas secas y sin disponibilidad de agua para el riego por superficie.

Riego por pulsos

- Experimentación preliminar de la tecnología de fertigación mediante el riego por pulsos con resultados que señalan oportunidades para reducir los costos de la fertilización, sin afectar la productividad. La ventaja en costos fue observada con respecto a la fertilización mecanizada.

Riego con caudal reducido

- Desarrollo de la tecnología de riego con caudales reducidos para el cultivo de la caña de azúcar en zonas de piedemonte.
- Evaluaciones técnicas y económicas de las aplicaciones de riego con caudal reducido por surco alterno como la modalidad más promisoria en piedemonte.
- Pruebas de adaptación del sistema de riego con caudal reducido para fertigación en el piedemonte.
- Pruebas de adaptación del sistema de riego con caudal reducido en zonas de la parte plana del valle del río Cauca.

Manejo del riego en campos con residuos de cosecha

- Validación técnica de la opción más económica de acomodo de los residuos de la cosecha en verde (residuos encallados al 2x1, dos calles limpias y una con residuos) en función del riego; la distribución del agua en los surcos en el arreglo de 1x2 (una calle con agua y dos sin ella: una limpia y la otra con residuos) es la modalidad más promisoria para el ahorro de agua en épocas de alta probabilidad de lluvias, sin efectos adversos en productividad.
- Validación técnica del factor de K para la programación de los riegos en campos con residuos verdes de cosecha (K similar al que se utiliza en caña quemada).

Fertilización foliar y aplicación de fertilizantes en diferentes condiciones agroclimáticas

Fertilización con nitrógeno en condiciones difíciles

- Validación técnica de la práctica de fertilización fraccionada de N en suelos húmedos; se justifican aplicaciones adicionales hasta de 25 kg de N/ha en forma de urea.

- Observaciones con la variedad CC 85-92 acerca de las oportunidades que ofrece la práctica de siembra en el lomo del surco en zonas muy húmedas para favorecer el establecimiento del cultivo, la nutrición con fertilizantes suplementarios y la producción del cultivo.

Fuentes de nitrógeno sólidas y líquidas

- Resultados preliminares a escala experimental indican mayor eficacia de los fertilizantes que contienen nitrógeno nítrico en comparación con la aplicación de urea, en zonas agroecológicas húmedas y muy húmedas.
- Observaciones acerca de los riesgos de toxicidad del cultivo por manganeso al usar urea en suelos con niveles altos del microelemento y condiciones muy húmedas. El riesgo puede ser menor cuando se fertiliza con nitrato de amonio líquido.

Manejo de residuos de cosecha y fertilización con NPK

- Validación técnica del efecto positivo de los residuos de la cosecha en verde en la respuesta del cultivo a la fertilización con NPK. El efecto negativo de retirar los residuos de cosecha no se puede compensar con la aplicación de fertilizantes. Los residuos dejados en el campo propician la actividad de las poblaciones de microorganismos en el medio edáfico y la eficiencia de la planta en el uso de los fertilizantes, entre otros beneficios.
- Introducción al conocimiento acerca de los factores físico-químicos que determinan la producción del cultivo y la productividad en sitios específicos.

Evaluación y uso de vinaza

Manejo de vinaza en suelos del valle del río Cauca

- Estimación de la cantidad de K_2O requerida por el cultivo de la caña de azúcar y el aporte de las vinazas (10%, 32.5%, 35% y 55% de sólidos totales) obtenidas en la región para suplir la demanda local.
- Observaciones acerca de cambios en las propiedades físico-químicas de suelos suplementados con vinaza 10% durante más de 20 años (pH, Mg y Na intercambiables, conductividad eléctrica, P disponible y K intercambiable, hasta 40 cm de la superficie).
- Evaluaciones a escala experimental y comercial que indican algunos efectos de la vinaza aplicada al suelo en beneficio de la producción de caña, así como limitaciones del rendimiento en azúcar por aumento en los contenidos de cenizas y K en jugos.

Preparación de abonos orgánicos

- Definición de protocolo para la preparación de abonos orgánicos a partir de cachaza, vinaza y carbonilla.

Fertilización con elementos menores, azufre y sílice

Formas y épocas de aplicación de elementos menores en diferentes suelos

- Confirmación o ajuste de los niveles críticos establecidos y usados actualmente para la fertilización de la caña de azúcar.
- Evaluación de la funcionalidad de la fertilización edáfica con elementos menores en diferentes suelos.

Extracción de S y Si por la caña

- Validación técnica del nivel crítico de Si en el suelo (20 ppm) a partir del cual es muy baja la probabilidad de obtener respuesta de la caña en producción.
- Cuantificación de la extracción de S y Si por la variedad CC 85-92 en un suelo ácido, de textura franco arcillosa sobre arcillosa y condición de humedad muy alta.
- Determinación de los efectos del Si en el desarrollo, producción y calidad de la caña de azúcar en algunos suelos.

Evaluación de la compactación del suelo y los daños causados por los equipos de transporte

Evaluación de vagón de pesaje

- Desarrollo de un vagón instrumentado y elaboración de mapas de productividad por suerte cosechada.

Compactación y daños por equipos

- Caracterización de cuatro llantas en cuanto a la relación presión de inflado, área de contacto y carga y su efecto en la compactación del suelo.
- Simulación de esfuerzos en el suelo por el tránsito de maquinaria.
- Distribución de la compactación causada por equipos de cosecha semimecanizada y mecanizada con diferentes tipos y arreglos de vagones.

Opciones de renovación del cultivo y su impacto económico

Secuencias de labores de preparación de suelos

- Definición de secuencias de labores reducidas para la preparación de suelos.
- Evaluación económica de la preparación de suelos con secuencias de labores reducidas y secuencias convencionales que muestran la posibilidad de mantener altas productividades con menor laboreo, menor costo y menor impacto ambiental. La producción de caña con el laboreo reducido es similar a la obtenida con el laboreo convencional.

Evaluación de bioestimulantes del crecimiento de la planta

Evaluación de bioestimulantes

- Evaluaciones técnicas y económicas del uso de bioestimulantes en caña de azúcar a escala comercial que muestran que los bioestimulantes aplicados al cultivo no generan beneficios adicionales en producción de caña y azúcar; las aplicaciones no se justifican desde el punto de vista económico.

Evaluación de maduradores

Respuesta de las variedades a los maduradores

- Evaluación técnica de la aplicación de maduradores en las variedades CC 92-2198, CC 93-3458 y 93-3803 que muestra poca respuesta de éstas en comparación con la respuesta del testigo CC 85-92. Además de los Glifosatos, los únicos productos con algún efecto madurador han sido los fertilizantes foliares que contienen potasio y fósforo.

Planta de producción de etanol, Ingenio Manuelita.

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.*

Cenicaña apoya a los industriales del sector azucarero colombiano en el logro de los objetivos estratégicos de calidad, productividad y sostenibilidad en sus plantas de producción de azúcar y producción dual de azúcar y etanol a través de investigaciones de interés común y la prestación de servicios tecnológicos para la atención de iniciativas específicas.

De acuerdo con lo anterior, se presentan en este aparte los avances más relevantes de las actividades realizadas durante 2010 en los proyectos asociados con las siguientes líneas de intervención: uso racional de energía, operaciones unitarias, control de procesos y fermentación.

El progreso en la integración energética como estrategia para el uso racional de energía en el proceso sucroalcoholero se refiere a la caracterización de la eficiencia y las condiciones operativas en los procesos de generación de vapor (calderas), la ejecución de auditorías energéticas como punto de partida en nuevos proyectos de cogeneración y la evaluación preliminar de la pirólisis como alternativa tecnológica para el aprovechamiento energético de los residuos de la cosecha de caña.

Las investigaciones en el área de clarificación de jugos continuaron enfocadas al conocimiento acerca de los factores que determinan la eficiencia del proceso y la calidad del producto obtenido, incluida la caracterización de los floculantes utilizados, las variables de control y la evaluación de insumos alternativos para el efecto. En relación con esta línea de investigación en operaciones unitarias, durante 2010 se iniciaron nuevos proyectos, uno con el fin de mantener los niveles de extracción en molinos con mayores contenidos de materia extraña en la caña procesada y otro para establecer el balance de agua en las plantas de azúcar y etanol.

Con respecto a las actividades de apoyo en el control de procesos, los avances muestran la relación de variables operativas del molino que permiten regular la cantidad de agua de imbibición aplicada para la maceración del colchón de caña y los bagazos en proceso, con resultados favorables en cuanto a la extracción de sacarosa y el contenido de humedad del bagazo final.

Finalmente se presentan los resultados principales de las investigaciones en los procesos fermentativos que buscan incrementar la productividad de las levaduras empleadas y las oportunidades de uso de nuevas cepas con potencial alcoholero. Así mismo, los avances en el estado del arte acerca de la obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos de la caña. Para el desarrollo de los proyectos se cuenta con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la cooperación técnica de universidades locales.

En general, la tendencia de las soluciones tecnológicas propuestas por el Programa de Procesos de Fábrica en las fábricas del sector se orienta a la automatización de los procesos de control de las operaciones mediante evaluaciones sistemáticas de las variables químicas, físicas y microbiológicas que determinan la eficiencia operativa y la calidad de los productos obtenidos. Para ello se mejora continuamente el equipamiento del Laboratorio Móvil y se perfeccionan las herramientas de software disponibles con el fin de lograr evaluaciones en tiempo real.

Las contribuciones en otros proyectos adelantados por Cenicaña se relacionan con el apoyo dado en el mejoramiento en los sistemas de cosecha, transporte y recepción de caña en los ingenios (ver página 53), en la implementación de una tecnología de biobalística (pistola genética, página 71) y en el desarrollo de un sistema de medición del caudal de agua con registro continuo para uso en canales abiertos (página 83).

Uso racional de energía

Eficiencia en calderas

La generación de vapor es una de las operaciones primordiales del proceso de producción sucroenergético, por lo cual se busca identificar los indicadores y factores principales relacionados con su eficiencia.

Cenicaña ha caracterizado 20 calderas de las 25 que operan en los trece ingenios del sector azucarero colombiano (Figura 23). Uno de los principales hallazgos señala que aproximadamente entre el 18% y el 45% del potencial de energía que entra a la fábrica se pierde en la caldera. Las pérdidas de energía están asociadas con dos factores principales: la calidad del combustible (humedad y ceniza en el bagazo) y las condiciones operacionales de las calderas (control de la combustión y equipos recuperadores de energía térmica).

Caldera en el Ingenio Sancarlos.

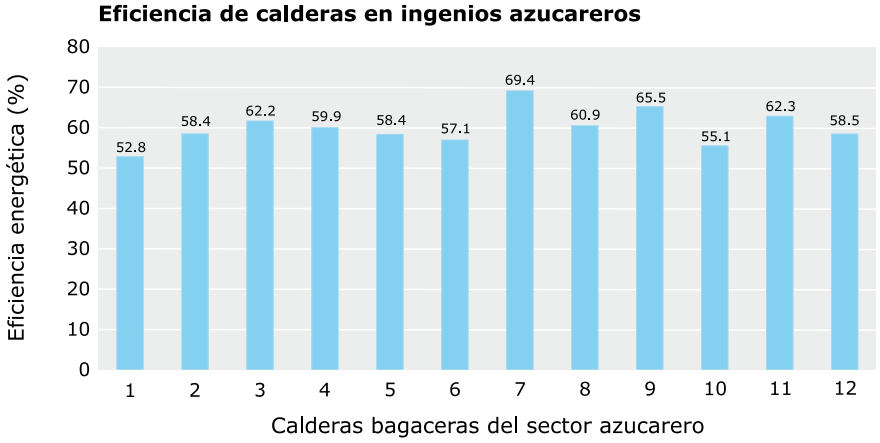


Figura 23. Eficiencia de doce calderas que operan en ingenios azucareros colombianos, evaluadas entre 2007 y 2010.

Con base en los resultados de la eficiencia energética en las calderas, algunos ingenios han comenzado a introducir cambios tecnológicos para mejorar la calidad del bagazo de caña como fuente de combustible, así como el uso dado a este material, con lo cual se espera reducir la dependencia de fuentes no renovables como carbón y fueloil, especialmente en aquellos ingenios que por la naturaleza de la caña son deficitarios en fibra.

El conocimiento acerca del rendimiento térmico de las calderas ha entrado a formar parte de la línea base de los estudios en algunos ingenios que buscan la diversificación en productos como azúcar refinada, alcohol carburante y energía eléctrica (cogeneración).

Cogeneración

En el último año, los ingenios azucareros con capacidad de cogeneración hicieron un diagnóstico preliminar acerca del rendimiento eléctrico equivalente (REE), indicador exigido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que señala la proporción mínima requerida entre la energía eléctrica y la energía térmica que puede producir un ingenio. Como estrategia de apoyo en el proceso de adopción de la metodología de cálculo del REE, Cenicaña avanza en la obtención de este indicador en línea a partir de las variables del proceso de generación y uso de energía en las fábricas.

Así mismo, Cenicaña continuó participando en el desarrollo de la ingeniería básica de proyectos de cogeneración; en 2010 acompañó a los ingenios Manuelita, Pichichí y Sancarlos.

Auditorías energéticas

A fin de establecer la línea base para el análisis de escenarios futuros de cogeneración, se recurre a las auditorías energéticas como alternativa de evaluación de la eficiencia y los requerimientos en las distintas etapas del proceso.

Turbogenerador

Durante 2010 se hicieron auditorías energéticas en los ingenios Manuelita y Sancarlos. El primer ingenio incorporó una desfibradora nueva y está interesado en adelantar estudios de factibilidad en asuntos de cogeneración; el segundo ingenio instaló un turbogenerador de 7 MW y repotenció la caldera de 300 psi a 650 psi.

En las auditorías se analizaron las áreas de generación de vapor (calderas), distribución y usos de vapor vivo, eficiencia de turbinas para generación de energía mecánica y eléctrica, consumos de energía mecánica y eficiencia de extracción en molienda. En elaboración se analizó el consumo de vapor de baja presión mediante seguimientos en las áreas de calentamiento de jugo, evaporación y tachos de cocimiento.

Para los análisis se utilizó el software Ceniprof v.1.0® que ofrece opciones para la configuración por módulos de cada proceso de la producción de azúcar según los esquemas de calentamiento, evaporación, cocimiento, generación de vapor y electricidad de cada ingenio; se puede configurar para plantas de azúcar y plantas duales azúcar-etanol.

Alternativas para el aprovechamiento de la biomasa azucarera

Una de las opciones tecnológicas disponibles para el aprovechamiento energético de los residuos de cosecha de caña (biomasa) es la pirólisis, a través de la cual se logra la descomposición físico-química de la materia orgánica por la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante. Los productos de la pirólisis son gases, líquidos y un residuo carbonoso; las cantidades relativas de estos productos dependen de las propiedades de la biomasa empleada y de los parámetros de operación del equipo utilizado.

En 2010 se construyó un pirolizador piloto tipo batch y se hicieron pruebas, como se presenta a continuación. También se avanzó en la puesta en marcha de un micropirolizador continuo como base del desarrollo de una unidad experimental piloto que se evaluará en el Ingenio Providencia, donde surgió la iniciativa.

Con los resultados de los experimentos de pirólisis, los balances de energía y la evaluación de los productos se efectuarán la simulación del proceso de generación distribuida de productos de pirólisis y la evaluación económica del sistema.

Construcción y evaluación de un pirolizador piloto tipo batch

Siguiendo los principios de aplicación de la pirólisis en batch para la producción de biochar establecidos por Adams (2004) en la India, según los cuales se emplean los gases generados en el proceso como fuente combustible, se construyó un pirolizador piloto tipo batch, con una capacidad volumétrica de 4000 cm^3.

Al aprovechar los gases pirolíticos como fuente de energía en la combustión se produce una combustión limpia con ausencia de CO. En las primeras experimentaciones se encontraron rendimientos de hasta 27.1% en producción de biochar a partir de residuos de cosecha, con una relación de biomasa para pirolizar a biomasa combustible de 0.8 en peso seco. La biomasa empleada como combustible fueron también residuos de cosecha.

Se realizó una curva de TGA (análisis termogravimétrico) en muestras de residuos de cosecha en la cual se logró visualizar las diferentes etapas del proceso de secado y pirólisis de la biomasa. En la Figura 24 se presentan los resultados de la curva TGA, señalando en un círculo la zona de pirólisis. Esta zona está entre 400 °C y 600 °C, posterior al incremento acelerado de la pendiente donde se ha alcanzado la zona de estabilidad.

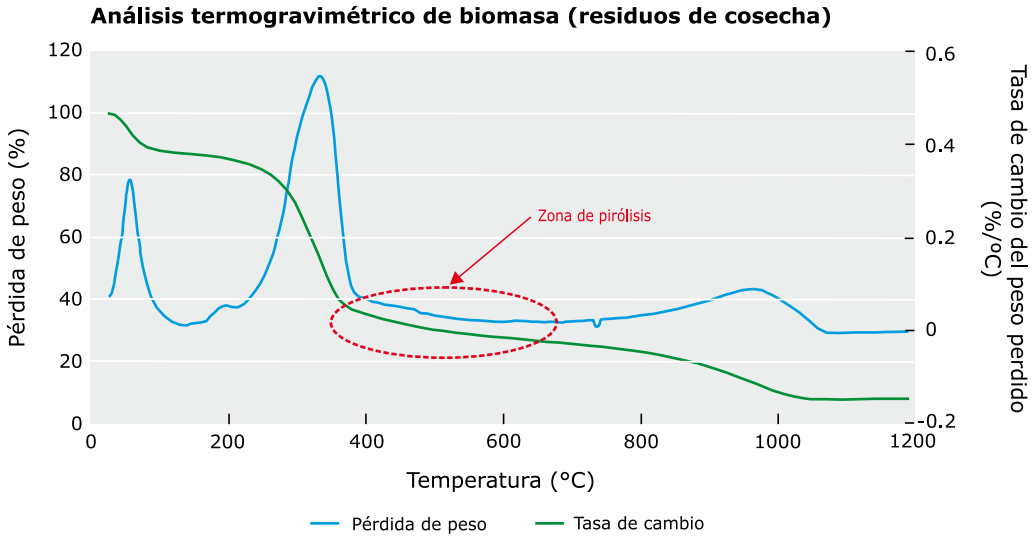


Figura 24. Análisis termogravimétrico de biomasa de residuos de cosecha de caña de azúcar sometidos a pirólisis.

Microscopía electrónica de barrido (SEM) de muestras de biochar

Los residuos de cosecha de caña pirolizados en el equipo batch piloto se analizaron morfológicamente al microscopio electrónico (Figura 25). Se comprobó el alto porcentaje de porosidad característico del biochar y se detectó la presencia de componentes residuales como potasio. La morfología del biochar es importante en el aspecto de agente mejorador de las propiedades físicas del suelo. En suelos principalmente arcillosos ayudaría a la retención de agua y aire aumentando las posibilidades de absorción de nutrientes en la periferia radical de la caña de azúcar. Actualmente se desarrollan experimentos en los cuales se pretende evidenciar el potencial del biochar como mejorador de las propiedades físicas del suelo.

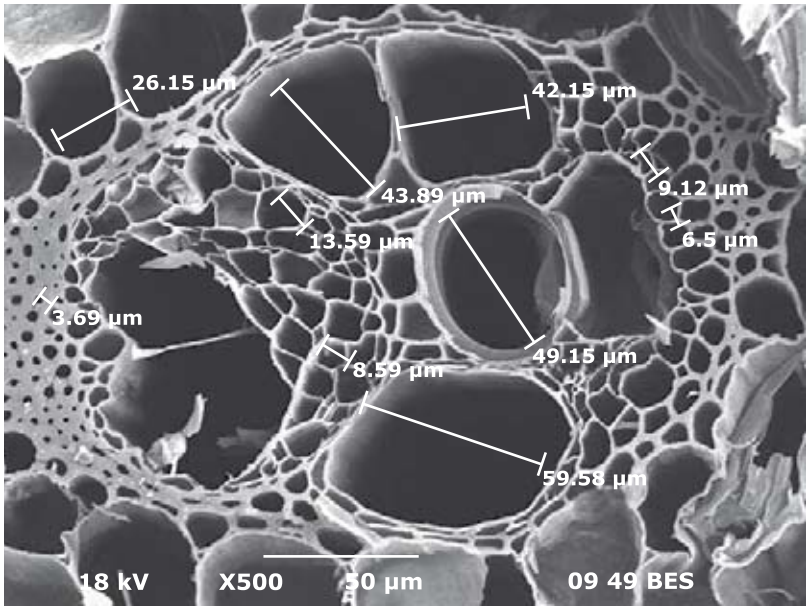


Figura 25. Tamaño de poros en un corte transversal de biochar analizado en un microscopio electrónico de barrido.

Operaciones unitarias

Clarificación de jugos

La operación de clarificación de jugos de caña, además de disminuir la turbiedad (ocasionada por impurezas) y el color, permite reducir la destrucción de sacarosa, controlar el pH y obtener mayores rendimientos de sacarosa en el jugo claro. El desempeño de esta etapa del proceso está sujeto a gran número de variables y factores fisicoquímicos (pH, temperatura, composición del jugo) de los que depende el éxito de la operación. Con el objetivo de mejorar el desempeño de la clarificación en los ingenios azucareros colombianos, se han explorado alternativas que permitan reducir el consumo de insumos químicos, mejorar el control del proceso e incrementar la calidad del jugo clarificado.

Uno de los factores determinantes en la aglomeración y floculación de las impurezas es el tamaño de partícula. Existen diversas tecnologías para medir esta propiedad y una de ellas es la difracción láser. Un análisis exploratorio con esta técnica arrojó como resultado la determinación del tamaño de partícula en jugos de caña (diluido, encalado y clarificado), que se podría emplear en el seguimiento del desarrollo de la floculación. Se está estudiando también la posibilidad de efectuar el análisis por medio de la microscopía óptica, que permitiría realizar la misma determinación con un costo relativamente menor.

Un área importante dentro de la clarificación es la sulfitación. Esta operación tiene como propósito primordial reducir el color del jugo por reducción de sustancias

colorantes a compuestos incoloros. En este sentido, se inició el establecimiento de una línea base sobre los sistemas de combustión y absorción de azufre, para determinar la eficiencia de los sistemas actuales y plantear acciones que permitan disminuir el consumo, manteniendo los valores actuales de remoción de color en el jugo.

Otro insumo químico de utilidad importante en la clarificación es el floculante. Este polímero, compuesto de acrilamida y acrilato de sodio, es determinante en la formación de los aglomerados de partículas insolubles y requiere condiciones de preparación y dosificación adecuadas para garantizar una acción efectiva en términos de turbiedad y velocidad de sedimentación. En uno de los ingenios del sector se hizo un estudio de los factores de preparación de floculante y condiciones de operación empleando el clarificador piloto. A partir de los resultados del estudio se modificó el sistema de preparación del floculante y el tanque de *flash*. Luego de estos cambios el consumo de floculante se redujo cerca del 50%.

El encalado de jugo no solo previene el deterioro de la sacarosa por el incremento del pH sino que facilita la floculación por la formación del fosfato tricálcico. El encalado es una operación que requiere un control preciso, deseable con fluctuaciones menores a 0.1 unidad con respecto al valor objetivo. El control inadecuado del pH afecta la clarificación del jugo, puede ocasionar pérdidas de azúcares e incrementa la probabilidad de incrustaciones en los evaporadores.

Además del control de pH, la cal utilizada debe tener un contenido de óxido de calcio aprovechable mayor al 85%. Las impurezas de la cal en la composición del jugo claro pueden depositarse en los evaporadores, causar desgaste de las tuberías o presentarse en el proceso de cocimiento como cenizas.

En un ingenio se evaluó el uso del hidróxido de calcio, insumo con menor contenido de impurezas que la cal viva y mayor facilidad de utilización; se observó una reducción en la tasa de incrustación en los evaporadores. Se tiene proyectado trabajar con proveedores de cal de la región, con el fin de diagnosticar y mejorar el proceso de producción de la cal viva y del hidróxido de calcio.

Control de procesos

Control de la imbibición

Con el objetivo avanzar en la formulación de un modelo dinámico del proceso de imbibición y su correspondiente estrategia de control, en la estación de molienda de un ingenio piloto se configuró un sistema automático de control del flujo de agua de imbibición. En las evaluaciones se registraron variables de proceso como: torque, flotación, humedad de bagazo en línea, nivel del chute, presión de toberas y flujo de imbibición.

Para molinos accionados por turbinas de vapor, en el ingenio piloto, se obtuvieron las correlaciones de las variables de molienda y de acuerdo con el modelo volumétrico australiano se calculó el torque total consumido en el molino, a partir del cual se pueden inferir las toneladas de fibra por hora procesadas.

Molinos, Ingenio Manuelita

Se encontró una relación lineal entre el torque medido en el sexto molino y la presión de toberas de la turbina. Con esta relación, el nivel del chute y la velocidad de la turbina, se controla la cantidad de agua de imbibición.

Los resultados experimentales fueron validados en forma preliminar utilizando el Laboratorio Móvil de Cenicaña y un sensor automático de humedad de bagazo perteneciente a Cenicaña, el cual fue instalado a la salida del último molino. Los resultados obtenidos con el control de imbibición con valor 'consigna variable' mostraron un ahorro de 3.7% en la cantidad de agua aplicada, un incremento de 0.53 unidades porcentuales en la extracción global de sacarosa y un incremento en la humedad del bagazo de 1.3% unidades porcentuales, con respecto al control con valor 'consigna fijo'.

Fermentación

El proceso de producción de etanol carburante en Colombia se basa en la fermentación de la mezcla de mieles, jugo clarificado y meladura, materiales azucarados que se transforman en alcohol por la acción de levaduras; el producto de la fermentación se lleva a destilación y luego se deshidrata para obtener el etanol anhidro que se utiliza como combustible. Con la tecnología en uso, la eficiencia del proceso en las dos etapas finales es superior al 99%.

De acuerdo con el interés planteado por las empresas azucareras productoras de etanol, las investigaciones coordinadas por Cenicaña se orientan al estudio de la fermentación con el propósito de incrementar la productividad de las levaduras empleadas, para lo cual se hacen evaluaciones de la eficiencia fermentativa en las plantas industriales y se buscan nuevas cepas de levaduras con potencial alcoholero (etanol de primera generación). Como estrategia de desarrollo productivo con visión prospectiva, se trabaja también en el estado del arte acerca de la obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos de la caña (etanol de segunda generación). Tres proyectos relacionados con estos objetivos cuentan con recursos de cofinanciación otorgados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

De modo complementario, desde el inicio de las operaciones de las plantas de etanol, Cenicaña ha apoyado a los ingenios duales en el establecimiento de sistemas de control del proceso fermentativo. En 2010, con el fin de contribuir al incremento de la calidad microbiológica y fisicoquímica de los materiales empleados en la producción de etanol, se apoyaron iniciativas de implementación de nuevos esquemas de esterilización de materias primas y mejora de los sistemas actuales.

Etanol de primera generación

Uno de los objetivos específicos de la investigación para incrementar la eficiencia fermentativa en la producción actual de etanol consiste en determinar los requerimientos nutricionales de las levaduras comerciales y la dosificación adecuada de insumos en los procesos de propagación y fermentación.

Las evaluaciones continuaron en la planta de etanol del Ingenio Mayagüez, con el fermentador piloto de Cenicaña junto al fermentador comercial. En propagaciones y fermentaciones tipo batch se evalúan dosis variables de Amino Nitrógeno Libre (FAN, por su sigla en inglés) y fósforo (P). Los resultados iniciales muestran que altas concentraciones de FAN (350 ppm) en propagación favorecen la eficiencia fermentativa y que ésta es independiente de la cantidad de nitrógeno y fósforo presentes en fermentación, lo cual puede representar ahorro en insumos del proceso como la urea, el Fosfato de Diamonio (DAP) y el ácido fosfórico, entre otros.

En relación con los avances del proyecto cofinanciado por el MADR para el aislamiento, caracterización y mejoramiento genético de levaduras nativas que toleren la recirculación de las vinazas y contribuyan a incrementar la productividad de etanol, se han seleccionado, esta vez a partir de muestras de suelo, hoja y cogollo, 13 cepas de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* que toleran concentraciones de vinaza superiores al 50% en volumen, con producción de etanol que alcanza eficiencias cercanas al 90% en fermentaciones tipo batch. Las 13 cepas aisladas fueron caracterizadas a nivel intraespecífico por técnicas moleculares.

Las levaduras aisladas a partir de hoja y cogollo presentaron mayor tolerancia a dos componentes de la vinaza (ácido acético y láctico), los cuales actúan en sinergismo con el etanol causando estrés inhibitorio de la mayoría de las cepas. Dos de estas cepas serán sometidas a un proceso de modificación genética con miras a incrementar la producción de etanol, además de permitir una mayor tasa de recirculación de vinaza y de esta forma contribuir a minimizar el consumo de agua en la etapa de fermentación. También se harán evaluaciones comerciales de dos levaduras en fermentadores tipo batch de 12,000 litros.

En la misma línea de investigación, durante el último año se evaluó la aplicación de la ósmosis inversa para el tratamiento de vinazas, tecnología que ha cobrado gran auge por su potencial de uso en los sistemas remoción de cargas orgánicas e inorgánicas. El objetivo del tratamiento de las vinazas es obtener un efluente con menor cantidad de compuestos inhibitorios (componentes orgánicos, inorgánicos y microbianos) respecto a la vinaza sin tratar, con el fin de incrementar el volumen de vinaza utilizada en la etapa de fermentación.

La ósmosis inversa fue evaluada en dos ingenios duales donde se utilizó una planta piloto con capacidad para tratar 1500 litros de vinaza diluida por hora. Se observó un incremento de la calidad del efluente obtenido (permeado), en el cual se logró eliminar hasta 70% de los ácidos orgánicos volátiles, 100% de la acidez

láctica y 99.9% de la contaminación microbiana. Sin embargo, el uso de este permeado como sustituto parcial o total de la vinaza sin tratar no ha mostrado diferencias significativas en la eficiencia fermentativa, según las evaluaciones en fermentaciones batch a escala piloto realizadas en el laboratorio de Cenicaña.

Etanol de segunda generación

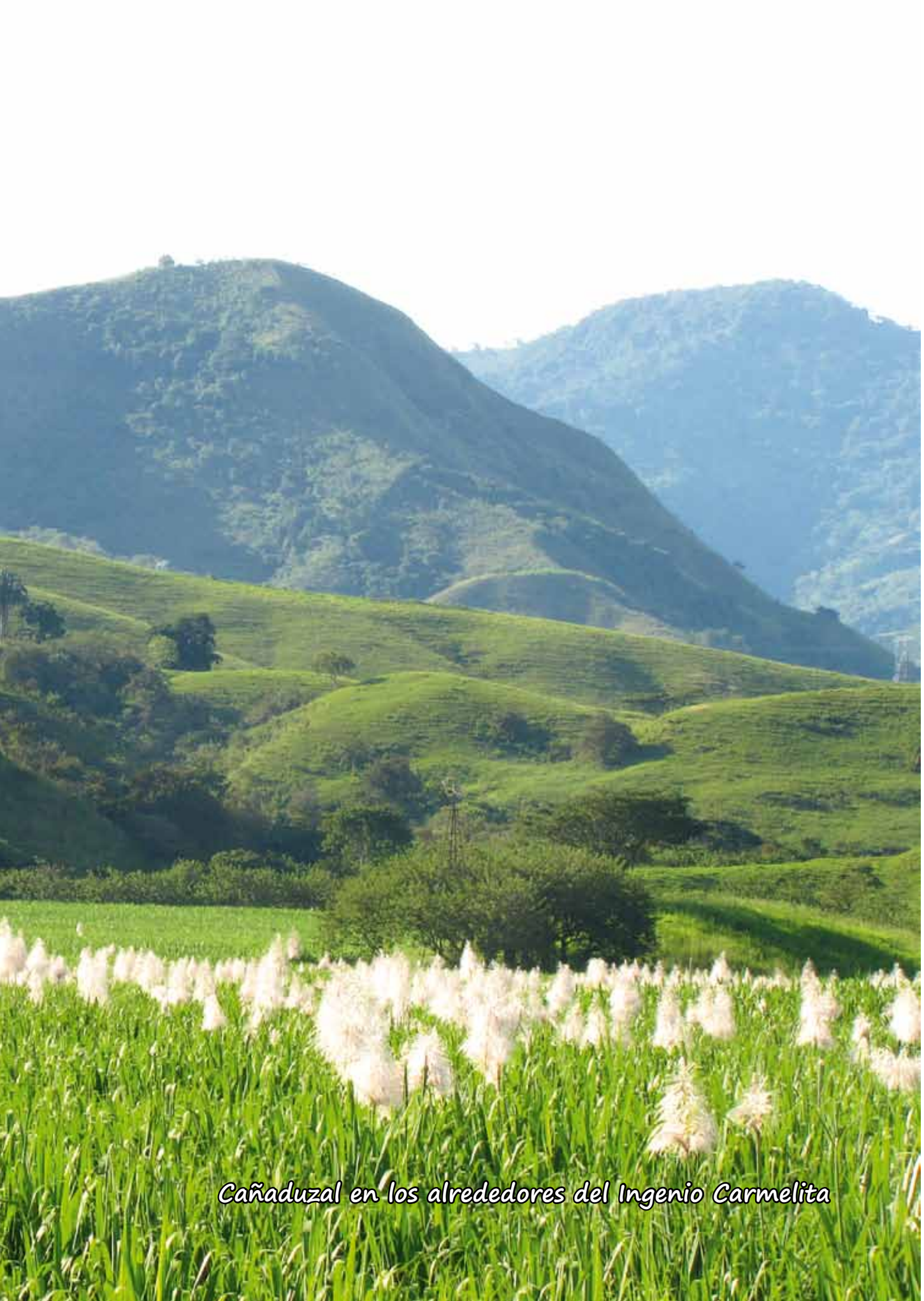
Cenicaña adelanta dos proyectos con la cofinanciación del MADR a través de los cuales se busca la utilización de microorganismos para la producción de etanol a partir de azúcares obtenidos de residuos de caña y la implementación de la hidrólisis química de residuos de caña para la obtención de azúcares simples como materia prima para la producción de etanol.

Se ha avanzado en el aislamiento y selección de microorganismos nativos con capacidad de producir enzimas que hidrolicen las fracciones de celulosa y hemicelulosa en los residuos de caña y en la implementación de la hidrólisis química para la obtención de jarabes ricos en xilosa y glucosa.

La capacidad celulolítica de los microorganismos seleccionados, cinco bacterias y seis hongos, se evaluó en medio de cultivo líquido utilizando como sustrato carboximetilcelulosa. Las cepas de hongos filamentosos se destacaron por ser las mayores productoras de enzimas celulolíticas.

En relación con la fermentación de la glucosa y la xilosa, se conformó un cepario inicial con 187 microorganismos con capacidad de utilizar xilosa como fuente de carbono. De acuerdo con los resultados de las pruebas de velocidad de consumo de xilosa, arabinosa y glucosa, tolerancia a diferentes concentraciones de etanol y producción de etanol, se seleccionaron 23 bacterias y 17 levaduras; estas últimas sobresalen por alta producción de etanol a partir de glucosa.

Como parte de la metodología de investigación se han implementado técnicas analíticas para cuantificar los diferentes grupos microbianos y/o metabolitos que pueden tener participación en procesos biotecnológicos relacionados con la caña de azúcar, así como técnicas de biología molecular para la identificación y caracterización de las especies de levaduras. Los proyectos se desarrollan en asocio con la Universidad del Valle y la Universidad Autónoma de Occidente.



Cañaduzal en los alrededores del Ingenio Carmelita

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.*

Se presentan a continuación los resultados de un análisis de identificación y cuantificación del efecto de algunas variables de clima sobre las toneladas de caña por hectárea (TCH) y el rendimiento % en azúcar, utilizando para ello el análisis de varianza y el análisis de regresión con datos del período comprendido entre enero de 1994 y junio de 2010.

También se incluyen en este informe los resultados del análisis de la recuperación de la edad de cosecha después de un período de descenso, considerando cuatro escenarios con dinámicas diferentes. Así mismo, un análisis de productividad y rentabilidad para un ingenio y la evaluación del impacto económico de los resultados de la planeación estratégica de Cenicaña.

Cuantificación del efecto del clima en la productividad azucarera

Los determinantes de las variaciones en productividad en la agroindustria azucarera están asociados con elementos de manejo de la caña de azúcar y con los factores que afectan el desarrollo del cultivo y su respuesta en producción.

El comportamiento del clima afecta de manera importante la eficiencia productiva tanto en campo como en fábrica. La cuantificación de este efecto permite planificar los compromisos que cada ingenio tiene durante el año y en investigación contribuye a encontrar estrategias que ayuden a disminuir los efectos adversos y a potencializar los efectos positivos sobre la productividad, la rentabilidad y el medio ambiente.

Se utilizaron datos de productividad reportados por la agroindustria entre enero de 1994 y junio 2010 y los datos de clima de registrados por las estaciones de la Red Meteorológica Automatizada en el mismo período.

Los datos fueron procesados por años–mes. Como variables de productividad se consideraron: Toneladas de caña por hectárea (TCH), rendimiento % en azúcar y edad de cosecha. Como variables de clima se tuvieron en cuenta: Precipitación, radiación solar y oscilación de la temperatura.

Para analizar el efecto sobre las variaciones de TCH se consideraron, junto con la edad de cosecha, las condiciones siguientes: Precipitación durante el mes de cosecha del corte anterior (para evaluar efecto en el suelo y daño de cepas); precipitación durante los tres primeros meses de edad del cultivo actual (en la oportunidad de las labores y su calidad); precipitación en el mes 7 del cultivo (en el desarrollo de la caña en su etapa de rápido crecimiento); precipitación en el último mes del cultivo (en el peso del tallo por hidratación); condición climática externa en el año anterior (efecto continuo de los fenómenos “El Niño” o “La Niña”). Estas variables fueron seleccionadas después de una serie de análisis de varianza donde se probaron varias combinaciones de factores. Las variables de clima y edad fueron organizadas en cuatro grupos, utilizando los cuartiles como criterio para su conformación.

Para analizar el efecto sobre las variaciones del rendimiento en azúcar se consideraron: Precipitación acumulada en los dos últimos meses del cultivo (para evaluar efecto de la materia extraña y la concentración de sacarosa por mayor crecimiento y dilución por absorción de agua), la radiación solar y la oscilación de temperatura (efecto en la concentración de sacarosa), el trimestre del año (estacionalidad del rendimiento), la condición climática externa del año (efecto continuado de los fenómenos “El Niño” y “La Niña”) y la edad de cosecha (efecto edad óptima).

A continuación se presentan los cambios en las variables dependientes (TCH y rendimiento) respecto a cambios en los rangos de las variables independientes (precipitación, radiación solar, oscilación de temperatura y condición climática externa).

Los resultados del análisis de varianza para TCH mostraron que:

- Entre el menor y el mayor rango de la precipitación del mes de la cosecha anterior (menos de 59 mm y más de 132 mm), la diferencia fue de 15.7 TCH.
- Para la precipitación durante los tres primeros meses del cultivo la diferencia entre los extremos (menos de 222 mm y más de 373 mm) fue de 4.3 TCH.
- La precipitación del mes 7 del cultivo tuvo una diferencia, entre el menor rango y el mayor, de 2 TCH.
- La precipitación durante el mes de cosecha actual tuvo poco efecto sobre el tonelaje (2 TCH entre el menor rango y el mayor) pero tuvo un efecto adverso sobre el rendimiento en azúcar.
- La edad de cosecha presentó diferencias de 14 toneladas entre el menor rango de edad y el mayor (menos de 12.8 meses y más de 13.8).
- Para el caso de la condición climática externa durante el año anterior, la mayor diferencia (13 toneladas) se obtuvo cuando esta condición fue “Niña”.

El análisis de varianza del rendimiento mostró lo siguiente:

- Para los dos rangos extremos de la precipitación acumulada en los dos últimos meses de la cosecha actual (menos de 138 mm y más de 254 mm) existe una diferencia de 0.73 unidades de rendimiento.
- El trimestre presenta una diferencia de 0.7 unidades al comparar el de menor valor (trimestre 2) con el de mayor valor (trimestre 3).

- Para radiación solar se observa una diferencia entre extremos de 38 calorías/ cm^2 por día, que implica 0.7 unidades de rendimiento.
- En el caso de la oscilación de temperatura la diferencia entre extremos de 1.3 °C implica una diferencia de 0.8 unidades de rendimiento.
- Es importante destacar que estas variables están dentro de la categoría de no controlables. El efecto de la precipitación es el único caso en que se podría disminuir el impacto en fábrica a través de mejoras en la calidad de la cosecha o en estaciones de limpieza en lo que tiene que ver con la materia extraña.

En los párrafos siguientes se presentan los resultados de la relación funcional entre la productividad y las variables de clima, de acuerdo con el análisis de regresión.

Los resultados para TCH del análisis de regresión muestran que todas las variables dependientes fueron significativas. Las de mayor peso, en su orden, son: edad (efecto positivo), precipitación tres primeros meses del cultivo (efecto negativo), condición climática externa (efecto negativo), precipitación último mes de la cosecha anterior (efecto negativo), precipitación mes de cosecha actual (efecto positivo) y precipitación mes 7 del cultivo (efecto positivo).

En el impacto sobre las TCH es importante resaltar lo siguiente: Variaciones de un mes en la edad de cosecha pueden aumentar o disminuir 7.2 unidades de TCH; la condición “Niña” el año anterior disminuye 7.5 unidades de TCH y, una precipitación de 200 mm en el mes de cosecha anterior disminuye en 8.5 unidades de TCH.

Los resultados para rendimiento tienen las mismas consideraciones que en el caso del tonelaje, es decir, todas las variables independientes fueron significativas. En orden descendente, de acuerdo al peso sobre el rendimiento, se tienen: La precipitación los últimos dos meses de la cosecha actual (efecto negativo), semestre (efecto negativo), radiación solar (efecto positivo), oscilación de temperatura (efecto positivo) y condición climática externa (efecto positivo).

Ingenio Risaralda.

Al cuantificar el impacto sobre el rendimiento se tiene que 200 mm de precipitación en los dos últimos meses del cultivo disminuyen en 0.418 unidades el rendimiento; si la oscilación de la temperatura aumenta un grado, entonces el rendimiento se incrementa en 0.081 unidades; 50 calorías de incremento en la radiación solar implican un aumento de 0.186 unidades de rendimiento; si la cosecha ocurre en el primer semestre del año, el rendimiento será menor en 0.23 unidades; con un efecto cuadrático, las edades superiores o inferiores a 13.5 meses disminuyen el rendimiento en 0.082; y si el año es normal, el rendimiento se incrementa en 0.149 unidades.

De los resultados anteriores se puede concluir:

- Es importante tener una primera cuantificación del efecto de algunas variables de clima en la productividad.
- Las variables de clima que más impactan el TCH son: la precipitación los 3 primeros meses del cultivo, la condición climática externa y la precipitación en el último mes de la cosecha anterior.
- La edad, aunque no es una variable de clima, sigue figurando como la de mayor influencia en las variaciones del TCH.
- La precipitación a los siete meses del cultivo y la precipitación del último mes son las únicas (variables de clima) con efecto positivo.
- Las variables de clima que más impactan el rendimiento son: precipitación en los dos últimos meses del cultivo (efecto negativo), semestre (efecto negativo), radiación solar (efecto positivo) y oscilación de temperatura (efecto positivo)
- Es importante continuar analizando la cuantificación del efecto de las variables de clima sobre la productividad para mejorar la estimación de los coeficientes de regresión.

Dinámica de recuperación de la edad de cosecha en la agroindustria azucarera colombiana

En los últimos 21 años el promedio de la edad de cosecha en la agroindustria azucarera colombiana ha tenido variaciones debido a diferentes causas. Durante ocho años de los 21 analizados el promedio de edad ha sido inferior a 13 meses; en nueve años ha estado entre 13 y 13.9 meses; en tres años, entre 14 y 14.9 y en un año, entre 15 y 15.9 meses. Los descensos en el promedio de la edad son los que más interesan porque son los causantes de las disminuciones del promedio de TCH en el sector.

En el análisis se utilizaron los promedios de los datos comerciales procesados por mes-año para el período comprendido entre enero de 1990 y junio de 2010 y se consideraron cuatro grupos de años que tipifican la dinámica del promedio de la edad. Estos grupos son: Incremento lento octubre 2002-diciembre 2004, incremento medio marzo 1992-mayo 1993, incremento rápido diciembre 2008-abril 2009 y, constante agosto 1995-abril 1997. Con los datos de los tres primeros grupos de años se realizó un análisis de regresión lineal simple para estimar la tasa de crecimiento por mes del promedio de la edad de cosecha.

Los resultados mostraron que cuando ocurre un incremento lento, el promedio de la edad crece a una tasa por mes de 0.044 unidades de mes y, al final de los 12 meses, llega a crecer un poco más de medio mes (0.528); este incremento lento se puede presentar cuando hay buenos precios y se viene de un fenómeno de “La Niña” en la cosecha anterior. En el crecimiento medio, la tasa es de 0.065 unidades por mes y alcanza, al final de los 12 meses, un aumento de casi un mes (0.78); esta situación es propia de una recuperación normal del fenómeno de “La Niña” en el año anterior, que afecta directamente las TCH. Para el incremento rápido el pro-

medio se mueve a una tasa de 0.195 unidades por mes, llegando a alcanzar al final de los 12 meses un aumento de 2.34 meses; este es un caso poco frecuente y se da solamente en situaciones especiales como la ocurrida en el año 2008. Para el grupo constante o de poca variación los promedios de las edades oscilaron entre 12.6 y 13 meses, época que corresponde a precios altos del azúcar; en los otros grupos las edades alcanzaron valores de 14, 15 y 16 meses.

Con base en estos resultados se puede decir que la edad del cultivo está muy influenciada por el fenómeno de "La Niña" (incremento de la molienda por bajas producciones de caña) o por otros factores entre los que se encuentra el precio del azúcar.

Análisis de productividad y rentabilidad para un ingenio de la zona húmeda

Análisis comparativo entre los períodos 1990-1999 y 2000-2009

Se realizó una comparación en productividad por décadas considerando los períodos 1990-1999 y 2000-2009. Se caracterizaron cada uno de los períodos en términos de la distribución varietal (variedades de caña cosechadas), las edades de cosecha, los números de corte, las zonas agroecológicas y las zonas geográficas. Un análisis descriptivo mostró disminuciones en los promedios de la producción de caña por hectárea entre los dos períodos (asociadas con el incremento en los promedios del rendimiento comercial) y las toneladas de azúcar por hectárea en ambos períodos.

En el análisis por zona geográfica (cuatro zonas) esta evolución en TCH entre períodos mostró disminuciones en dos zonas e incrementos en las otras dos. El rendimiento se incrementó en tres zonas y disminuyó en una. De acuerdo con lo anterior se observa una relación inversa entre TCH y rendimiento. En las diferentes zonas geográficas el comportamiento de las TAH entre períodos fue similar al indicado para TCH.

Ingenio Manuelita.

Comparaciones similares se realizaron en cada una de las zonas agroecológicas. En términos de TCH hubo un incremento en productividad entre los dos períodos en las zonas 10H5, 13H5, 25H5, 8H4, 8H5, 9H4 y 9H5, así como hubo una disminución en las zonas 13H3, 14H1, 14H2, 1H1, 20H5, 3H3, 3H4, 5H4, 6H1, 6H2 y 7H1.

El rendimiento presentó incremento en las zonas 10H5, 13H3, 14H1, 1H1, 3H3, 3H4, 6H1, 6H2, 7H1, 9H4 y 9H5. En términos generales, se encontraron mayores incrementos asociados al rendimiento que al TCH.

Con relación al TAH, se presentó incremento en las zonas agroecológicas 25H3, 25H5, 3H3, 7H1, 8H4, 8H5, 9H4 y 9H5, que coinciden en gran parte con las zonas donde se incrementó el TCH.

La comparación en términos varietales entre los dos períodos presentó disminución para las variedades CC 84-75, CC 85-92, MZC 74-275, PR 61-632 y V 71-51 e incremento para la variedad CP 57-603. Los rendimientos se incrementaron en el segundo período con las variedades CC 84-75 y CC 85-92, mientras que las demás variedades presentaron disminuciones. Lo anterior implicó reducción en TAH con todas las variedades.

Techos y pisos de productividad

Con base en la estimación de los percentiles 10 (p10) y 90 (p90) se establecieron los pisos (p10) y techos (p90) en términos de rendimiento, TCH y TAH. Además se caracterizaron los casos que se encontraron por debajo del piso y por encima del techo; se halló una asociación estrecha entre las categorías de rendimiento y las variedades de caña.

De acuerdo con el análisis el grupo de rendimiento alto presentó proporciones altas (>63%) de suertes con las variedades CC 85-92 y CP 57-603. Por su parte, el grupo de rendimiento bajo se caracterizó por tener la mayoría de sus suertes (>60%) con las variedades PR 61-632, V 71-51 y CC 84-75. En cuanto a la edad de cosecha los rendimientos altos estuvieron asociados con variedades cosechadas en edades menores de 13.7 meses y los rendimientos bajos, con variedades de más de 13.7 meses de edad.

En TCH el grupo de alta productividad se relacionó con las variedades CC 85-92 y PR 61-632 y el grupo de baja productividad con MZC 74-275. Altos TCH resultaron asociados con edades mayores a 13.7 meses y bajos TCH, con edades inferiores a ese valor. En cuanto a TAH el incremento coincidió con la mayor proporción de área con CC 85-92. La edad está asociada de forma similar con las TAH y las TCH.

Análisis de varianza para rendimiento, TCH, costos y utilidad

Con las siguientes consideraciones de precios y costos se realizó el respectivo análisis para las variables de productividad y rentabilidad en el ingenio:

- Precio ponderado del azúcar: 850 mil pesos ($Col)
- Costo de oportunidad de las tierras propias equivalente al canon de arrendamiento: 109 kilos de azúcar hectárea neta por mes de cosecha
- Participación: 28 kilos de azúcar por tonelada de caña
- Proveeduría: 58 kilos de azúcar por tonelada de caña

Los resultados muestran que los factores que más influyeron en las variaciones encontradas en la utilidad fueron los grupos de edad de cosecha, la variedad de caña, la zona agroecológica y las interacciones variedad por grupo de corte, variedad por grupo de edad, variedad por grupo de tenencia y variedad por zona agroecológica.

La interacción variedad por tipo de tenencia mostró que las variedades CC 85-92 y V 71-51 son muy similares entre ellas en cuanto a utilidad pero significativamente superiores a la CC 84-75 en tierras de manejo directo, mientras que para tierras de proveeduría la mejor variedad es la CC 85-92.

En la interacción variedad por zona agroecológica, en las zonas con características de mayor humedad se observó la superioridad en la utilidad de las variedades CC 85-92 (en las zonas agroecológicas 16H4, 16H5, 3H4, 5H4 y 9H4), CC 84-75 (10H5, 25H5, 8H4 y 9H5) y V71-51 (5H5 y 8H5). En las zonas secas y semisecas las mayores utilidades se obtuvieron con CC 85-92 (zonas 14H2, 1H1, 1H2, 3H3, 4H1, 5H3 y 6H2), CC 84-75 (11H2 y 7H1) y V 71-51 (13H2, 14H3 y 6H1). Esta información ha sido utilizada por el ingenio para establecer estrategias con el fin de mejorar su rentabilidad.

Evaluación económica de resultados de la planeación estratégica de Cenicaña: Línea base (2000-2009) y proyección (2010-2030)

Se realizó el análisis económico de los resultados de la planeación estratégica de Cenicaña para el período 2010-2030, tomando como línea base el promedio de productividad del sector en el período 2000-2009. Se realizaron las proyecciones respectivas según el análisis técnico sobre las variedades de caña de azúcar y el incremento en productividad dado por las renovaciones anuales (12% anual) que el sector debe acometer al 2014 en el 58% del área en cultivo, considerando la siembra de las variedades CC 93-4418, CC 92-2804, CC 93-4181, CC 93-3826 y CC 93-3895. Adicionalmente se tuvieron en cuenta los resultados de la investigación y el desarrollo tecnológico en agronomía, procesos de fábrica y sistema CATE según el área potencial de adopción en el corto plazo y el mediano plazo. En todos los casos se presumen impactos positivos en productividad y disminución en costos de producción.

A continuación se indican los valores de aumento y disminución en la productividad del sector en el corto plazo (2014), mediano plazo (2019) y largo plazo (2030), así como los impactos económicos respectivos con la asunción de que se cumplen los supuestos de edad, manejo y áreas sembradas.

- **Toneladas de caña por hectárea (TCH)**: A partir de 117.3 TCH se proyectan incrementos hasta 125.3 TCH en el corto plazo, hasta 134.3 TCH en el mediano plazo y hasta 153.1 TCH en el largo plazo.
- **Rendimiento en azúcar (%):** A partir de 11.7%, incrementos hasta 12.3% en el corto plazo, hasta 12.9% en el mediano plazo y hasta 14.2% en el largo plazo.
- **Caña molida (toneladas)**: A partir de 22.5 millones de toneladas se proyectan incrementos hasta 24.1 millones en el corto plazo, hasta 25.8 millones en el mediano plazo y hasta 29.4 millones en el largo plazo.

- **Azúcar producido (quintales)**: A partir de 52.7 millones de quintales se proyectan incrementos hasta 59.3 millones en el corto plazo, hasta 66.6 millones en el mediano plazo y hasta 83.5 millones en el largo plazo. En términos totales, la molienda y la producción de azúcar al 2030 presenta una diferencia positiva de 6.8 millones de toneladas de caña molida y 30.7 millones de quintales de azúcar producido.
- **Costos unitarios**: Con una probabilidad del 60%, los costos de producción en centavos de dolar por libra se disminuyen en un 41% entre el corto plazo y el largo plazo, producto del uso de las tecnologías agronómicas, CATE, incremento de la eficiencia en el uso de productos químicos, disminución de tiempos perdidos y recuperación en las fábricas.
- **Beneficio marginal anual**: Con probabilidad del 52%, se obtienen beneficios marginales adicionales promedio anual de 305 millones de dólares en el corto plazo, 270 millones de dólares en el mediano plazo de y 473 millones de dólares en el largo plazo.
- **Inversión**: El valor actual de la inversión en Cenicaña para los próximos 22 años se estimó en 283 millones de dólares. Por tanto el valor presente neto del beneficio adicional, descontada la inversión, es por lo menos 194 millones de dólares con probabilidad del 47%. Lo cual lleva a un período de repago de dicha inversión de cuatro años, plazo en el cual se recupera la inversión de los próximos 22 años y se entrega una rentabilidad mínima exigida por el inversionista del 13% anual.

Estación Experimental de Cenicaña.

Cenicaña en la Feria Agro del Pacífico convocada por la Sociedad de Agricultores y Ganaderos, SAG.

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.*

Se presenta en este informe un análisis acerca de la adopción de tecnologías de riego en el sector azucarero y los beneficios en ahorro de agua en tierras de los productores adoptantes. Los resultados indican la necesidad de mantener y fortalecer las actividades de transferencia de tecnología y capacitación acerca de las relaciones suelo-agua-planta-atmósfera, el manejo del agua, la programación de los riegos y el control administrativo de la labor.

En relación con el programa de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT) se muestran los avances de los experimentos de validación de paquetes tecnológicos con enfoque AEPS que se adelantan con la participación de los productores. La iniciativa de validación participativa comenzó en 2009 como un mecanismo de verificación, demostración y difusión de las mejores prácticas de AEPS. A partir de este proyecto se busca configurar una nueva etapa de desarrollo de la Red GTT y se avanza en el propósito de fortalecer el sistema de cooperación técnica y transferencia de tecnología en el sector azucarero.

También se presenta un resumen de la producción de material divulgativo que comprende la edición de publicaciones impresas, la administración del sitio web y la elaboracion de ayudas visuales de apoyo en eventos de divulgación pública de la ciencia y la tecnología.

En cuanto al programa de atención de visitantes en la Estación Experimental, en la versión electrónica del Informe Anual 2010 se hace la relación de entidades, temas y expositores. Ver <www.cenicana.org>

Otros asuntos coordinados por el Servicio se refieren al proyecto AEPS y el proyecto CATE (ver páginas 40 y 50, respectivamente).

Seguimiento de tecnología

Adopción de tecnologías ahorradoras de agua

Con base en la información reportada por los agricultores responsables de la producción en el 85% del área cultivada con caña de azúcar en el valle del río Cauca, en tierras con manejo directo de ingenios y tierras de proveedores, se estimó el nivel de adopción de tres tecnologías de riego transferidas por Cenicaña y los beneficios asociados con éstas en términos del volumen de agua ahorrado en cada riego del cultivo.

Los beneficios fueron calculados de acuerdo con los volúmenes de agua aplicados y los ahorros de agua medidos en las investigaciones coordinadas por el Programa de Agronomía de Cenicaña, a partir de las cuales se ha recomendado el uso de las tecnologías específicas según las condiciones agroecológicas de cada sitio de cultivo. Los valores de referencia se presentan en el Cuadro 10, donde se puede observar que el potencial acumulado de ahorro de agua por hectárea y por riego con el uso de las tecnologías disponibles equivale al 50% del volumen aplicado en el riego convencional (sin adoptar ninguna de las tecnologías promovidas).

Cuadro 10. Valores de referencia acerca de los ahorros de agua y los volúmenes aplicados con el uso de tecnologías de riego.

Fuente: Cruz Valderrama, J.R. 2010. Tecnologías de riego para el uso eficiente y sostenible del agua en el sector cañicultor. En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (ene.-jun.). p.5-22.

Ahorros de agua y volúmenes aplicados con el uso de tecnologías de riego[1]	Un riego (m^3/ha)	Cuatro riegos, con BH[2] (m^3/ha)	Siete riegos, sin BH[2] (m^3/ha)
Volumen de agua aplicado en cada riego sin adoptar ninguna de las tecnologías	1,800	7,200	12,600
*Ahorro de agua mínimo si adopta el **Control administrativo del riego***	*200*	*800*	*1400*
Volumen de agua aplicado después de adoptar el Control Administrativo del Riego (CAR)	1,600	6,400	11,200
*Ahorro de agua mínimo si adopta el **Riego por surco alterno***	*300*	*1200*	*2100*
Volumen de agua aplicado después de adoptar CAR y surco alterno	1,300	5,200	9,100
*Ahorro de agua mínimo si instala **Tubería con compuertas***	*200*	*800*	*1400*
Volumen de agua aplicado después de adoptar CAR, surco alterno y tubería con compuertas[3]	1,100	4,400	7,700
*Ahorro de agua mínimo si adopta el **Riego por pulsos***	*200*	*800*	*1400*
Volumen de agua aplicado después de adoptar CAR, surco alterno, tubería compuertas y pulsos	900	3,600	6,300

1. Valores estimados en investigaciones de Cenicaña en cooperación con ingenios y cultivadores de caña.
2. BH: Balance hídrico (para programación de los riegos). Permite ahorrar en promedio tres riegos por año.
3. Valores alcanzados en el Ingenio Manuelita S.A.

El beneficio potencial se multiplica con el uso del sistema de balance hídrico (BH) para la programación de los riegos, que según la experiencia de los productores adoptantes permite ahorrar en promedio tres riegos por año. No obstante los beneficios potenciales del balance hídrico, el sistema, que tiene un área potencial de adopción de 100%, ha sido adoptado en el 63%, principalmente en tierras con manejo directo de los ingenios.

En el caso del presente análisis se tuvieron en cuenta tres tecnologías: Control administrativo del riego, riego por surco alterno y tubería con compuertas para la conducción del agua y su aplicación por gravedad. De acuerdo con los valores de referencia, el beneficio potencial por el uso de estas tres tecnologías podría representar un ahorro de agua de por lo menos 700 m^3/ha por cada riego, de forma que en las tierras administradas por los productores adoptantes se podría estimar un ahorro potencial de agua equivalente al 39% del volumen aplicado en el riego convencional.

Los resultados del seguimiento en ocho ingenios señalan que los productores han adoptado el control administrativo del riego en 75,800 hectáreas, la tecnología de riego por surco alterno en 100,400 hectáreas y la tubería con compuertas en 105,700 hectáreas (Cuadro 11).

El ahorro mínimo de agua que se logra con el control administrativo del riego equivale a 200 m^3/ha por riego.

Cuadro 11. Adopción de tecnologías de riego en las unidades productivas y estimación de los beneficios percibidos en ahorro de agua. Datos de área reportados por productores de caña de ocho ingenios azucareros que participan en la Red GTT (85% del área total sembrada por la agroindustria).

Tecnologías adoptadas por los productores[1]	Proveedores de caña		Manejo directo ingenios		Totales	
	Área (ha)	Ahorro (miles de m³)	Área (ha)	Ahorro (miles de m³)	Área (ha)	Ahorro (miles de m³)
Control administrativo del riego	28,200	5,640	47,600	9,520	75,800	15,160
Surco alterno	43,700	13,110	56,700	17,010	100,400	30,120
Tubería con compuertas	44,500	8,900	61,200	12,240	105,700	21,140

1. Valores de referencia acerca del ahorro de agua debido a la adopción de cada tecnología (en un evento de riego): Control administrativo del riego (200 m³/ha); surco alterno (300 m³/ha); tubería con compuertas (200 m³/ha).

Así, con el supuesto de que los productores adoptadores aplicaron en las áreas reportadas un volumen de agua inferior en 700 m³/ha en cada evento de riego con respecto al que aplicaban antes de adoptar las tecnologías (pasaron de 1800 m³/ha a 1100 m³/ha por riego), para los casos de análisis resulta válido calcular un beneficio potencial acumulado de ahorro de agua de 66.4 millones de metros cúbicos por riego. En las unidades productivas de proveedores el ahorro potencial equivale a 27.6 millones de metros cúbicos y en las unidades con manejo directo de los ingenios, a 38.7 millones de la unidad de volumen, aproximadamente.

Pese a estos beneficios, en general se observa que la adopción de las tecnologías ahorradoras de agua se encuentra en un nivel entre bajo y medio en las tierras con manejo de proveedores y entre medio y alto en las tierras con manejo directo de los ingenios.

Particularmente, el control administrativo del riego tiene un nivel de adopción muy incipiente, especialmente en tierras de proveedores, al igual que la tecnología de balance hídrico. En relación con el grado de adopción del control administrativo, el seguimiento señala que en 28,200 hectáreas de proveedores se mide el volumen aplicado por hectárea, pero sólo en 14,500 hectáreas se mide el caudal aplicado por surco. En tierras de los ingenios dichas mediciones se realizan en 47,660 ha y 60,700 ha, respectivamente (Cenicaña, 2010). En ambos grupos de productores la brecha de adopción de las tecnologías de programación y control del riego son grandes, dado que el techo potencial es igual al 100% del área cultivada (218,311 hectáreas al 31 de diciembre de 2010).

Se espera que en el mediano plazo las tecnologías de manejo de aguas alcancen su techo potencial de adopción con un enfoque aplicado de AEPS y en congruencia con los objetivos planteados por los representantes del sector azucarero que participan en la Mesa del Agua.

Programas de transferencia y capacitación

Red de grupos de transferencia de tecnología (GTT)

El objetivo de los Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT) es establecer una red de comunicación para el intercambio de información técnica y administrativa sobre el uso de las mejores prácticas con enfoque de agricultura específica por sitio y promover así la innovación tecnológica en el sector azucarero colombiano.

Cenicaña ha coordinado esta iniciativa durante la última década (2001-2010), tiempo en el cual se han llevado a cabo 532 eventos de transferencia de tecnología con los productores de la red: 330 días de campo, 149 conferencias, 53 talleres de capacitación y cinco giras técnicas. Las memorias y las estadísticas de los eventos se encuentran publicadas en <www.cenicana.org>

En el año 2010 la Red GTT celebró 43 eventos: 16 días de campo y 27 conferencias. Los temas de mayor difusión estuvieron relacionados con el manejo de aguas; se realizaron 12 eventos con énfasis en la administración del recurso hídrico, el uso de tecnologías ahorradoras de agua y el manejo del cultivo en condiciones de alta humedad.

Otros temas de amplia difusión fueron los avances del sector azucarero colombiano en el marco de la responsabilidad social empresarial (RSE); en total se celebraron ocho eventos en los que se presentaron los compromisos sectoriales con los lineamientos de la iniciativa BSI (*Better Sugarcane Initiative*), los principios del Pacto Global y, en general, con la creación de valor económico, social y ambiental en las empresas azucareras y sus zonas de influencia, como parte de la estrategia de sostenibilidad del sector.

Visita a fábrica, GTT Ingenio Pichichí.

Optimización de la productividad en fincas de proeveedores, GTT Incauca.

De igual modo, en 2010 se dio continuidad a los planes de desarrollo de la segunda fase de la Red GTT, en la cual se tiene como objetivo general validar paquetes tecnológicos por zona agroecológica mediante la experimentación participativa con los productores, en sus unidades productivas (ver página 130). Durante 2010 se realizaron seis días de campo en las áreas demostrativas de validación de tecnología establecidas en las zonas agroecológicas 6H1, 11H1 y 10H4 en donde se observó el estado de los experimentos de validación y se presentó información acerca de los costos y los indicadores de desarrollo del cultivo.

Foros técnicos

Con el lema "Sostenibilidad de la caña de azúcar: Una oportunidad sustentable" el 30 de junio se llevó a cabo el Primer Foro con Cultivadores 2010, en el cual se trataron los siguientes temas: BSI, gestión sostenible del riego, manejo sostenible del suelo, producción de variedades de caña y procesos fabriles. El 7 de septiembre, ante la confirmación de la presencia de la roya naranja en el valle del río Cauca y los pronósticos del clima regional se realizó el Segundo Foro con Cultivadores 2010, con los siguientes temas: El fenómeno de "La Niña", manejo agronómico en condiciones húmedas (drenaje, preparación de suelos y fertilización), sanidad vegetal (roya naranja y roya café) y avances en la selección de variedades de caña de azúcar. Las memorias de estos eventos se encuentran en <www.cenicana.org>

Cenicaña también participó activamente mediante cursos y conferencias en el Diplomado sobre Producción Sostenible de Bioetanol, el Seminario Internacional de Cosecha de Caña de Azúcar y el Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar, eventos organizados por Asocaña en convenio con el Sena y por Tecnicaña.

Uso de maduradores, GTT Ingenio Mayagüez.

Demostración del software de Balance Hídrico durante el foro con cultivadores.

Validación de tecnología

Validación participativa de soluciones AEPS con productores de la Red GTT

La validación de paquetes tecnológicos con enfoque AEPS es una propuesta de investigación participativa que avanza con la cofinanciación de Colciencias en el marco del proyecto AEPS, cuarta fase (ver página 40), y la cooperación de seis ingenios azucareros que participan en la Red GTT.

Con base en la experimentación se evalúan tratamientos alternativos de AEPS y se estiman las ventajas relativas de las soluciones propuestas en términos de productividad, costos y rentabilidad. Las cualidades y los resultados de cada tecnología AEPS se describen y analizan respecto a los tratamientos convencionales o aplicados usualmente en las unidades productivas. Las áreas experimentales de validación participativa se definen como áreas demostrativas, lo cual propicia que sean modelo de calidad agronómica, técnica, administrativa, ambiental y social.

De acuerdo con la metodología adelantada con los GTT, al finalizar 2010 se tenían cuatro experimentos de validación en igual número de ingenios: zonas agroecológicas: 6H1 (suelo Corintias, ingenios Sancarlos y Pichichí), 11H1 (suelo Manuelita, Ingenio Manuelita) y 10H4 (suelo Ballesteros, Ingenio La Cabaña). Se espera sumar un experimento nuevo en la zona 11H3, en cooperación con el Ingenio Mayagüez y otro en una zona de piedemonte con el Ingenio Providencia.

En 2010 se cosechó la plantilla del experimento en el Ingenio Pichichí, zona agroecológica 6H1, en un Vertisol, Typic Haplusters, de familia textural muy fina y porcentaje de arcillas mayor del 60%, donde se observaron resultados de productividad similares entre tratamientos y oportunidades para disminuir los costos de producción con las prácticas de AEPS (Cuadro 12).

Cuadro 12. Experimento de validación de prácticas AEPS. Resultados en plantilla, zona agroecológica 6H1, Ingenio Pichichí.

Tratamiento	TCH	Azúcar recuperable estimado, ARE (% caña)	Costos (%)*
Todo convencional, variedad CC 85-92	136	13.0	100
Variedad AEPS y lo demás convencional, CC 93-4418	136	12.5	100
Preparación AEPS y lo demás convencional, CC 85-92	138	13.7	95
Densidad siembra AEPS y lo demás convencional, CC 85-92	139	12.5	92
Riego AEPS y lo demás convencional, CC 85-92	139	12.9	97
Fertilización AEPS y lo demás convencional, CC 85-92	139	13.1	101
Todo AEPS, CC 93-4418	134	13.3	85

* Costos relativos respecto al tratamiento 1 (todo convencional).

La experiencia de validación de tecnologías AEPS en asocio con los productores que participan en la Red GTT potencia los alcances de la interacción grupal, refuerza el aprendizaje colectivo y promueve la adopción de prueba en las unidades productivas, lo cual contribuye al desarrollo de capacidades clave para la gestión de la innovación y el cambio tecnológico en la agroindustria.

Las decisiones acerca de los experimentos se toman en reuniones participativas coordinadas por Cenicaña según los objetivos y criterios de administración del proceso de validación. Los equipos de trabajo están integrados por representantes de Cenicaña, proveedores e ingenios, quienes identifican las prácticas convencionales utilizadas por los productores, seleccionan los sitios experimentales, los tratamientos por evaluar, el diseño experimental y de muestreo, el programa de evaluaciones y los indicadores de resultado.

Los paquetes tecnológicos por validar se definen con base en los productos entregados por los programas de investigación de Cenicaña (variedades de caña y recomendaciones de manejo agronómico), las prácticas agronómicas definidas en la matriz de recomendaciones tecnológicas con enfoque AEPS (ver página 46) y las mejores prácticas identificadas con los productores de la Red GTT. En el proceso se analizan las variables asociadas con labores de preparación de suelos, variedades de caña, densidad de siembra, riego y fertilización.

Producción de material divulgativo

En cuanto a las series impresas se publicó la Carta Trimestral 1-2 de 2010 y el Informe Anual 2009. También, para apoyar las actividades de divulgación acerca de la aparición de la roya naranja en el valle del río Cauca se elaboró un afiche y una tarjeta de bolsillo con fotografías de los síntomas de la enfermedad, las recomendaciones de manejo y la distribución del patógeno en caña de azúcar en el mundo.

Se prepararon las ayudas visuales para las exhibiciones en el Congreso Internacional de Cultivadores de Caña de Azúcar celebrado por Procaña en la Feria Agro del Pacífico 2010 convocada por la SAG.

En el sitio web corporativo se publicó la Herramienta para la Verificación del Grupo de Humedad (nuevo servicio del Sistema de Información AEPS) y el sistema de apoyo al Grupo de Formación Continuada en Procesos Fabriles. Además, como parte de las actividades de desarrollo de la Matriz de Recomendaciones Tecnológicas (ver página 46) se evaluaron herramientas de diseño multimedia y con base en la propuesta aprobada de navegación y los criterios de conectividad remota mediante dispositivos portátiles, incluidos los teléfonos móviles, se avanzó en el diseño de interfaces y el ordenamiento de archivos. Al finalizar el año se contaban 548 archivos seleccionados y clasificados en 135 temas y subtemas; 101 imágenes y cinco videos fueron registrados en la versión de DSpace utilizada en el proyecto de biblioteca digital (ver página 134). Al finalizar 2010 había 933 usuarios registrados en el sitio web: 549 personas naturales o representantes de las empresas proveedoras de caña y 384 representantes de los ingenios y las instituciones del sector.

Ingenio Manuelita.

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.*

Este año se dio inicio al proyecto Biblioteca Digital de la Caña de Azúcar, en el cual se tiene como primer objetivo recopilar, procesar y almacenar el conocimiento explícito de Cenicaña. De igual modo y para mejorar la administración de los servicios de información y documentación, se actualizó el software SIABUC9, el cual permite interoperabilidad con la biblioteca digital y ofrece mayor estabilidad en el servidor de las bases de datos para la seguridad de los reservorios de información.

Se continuó la prestación de servicios tanto a los usuarios del sector azucarero como al resto de la comunidad, en especial a la población en edad escolar del corregimiento de San Antonio de los Caballeros quienes hacen uso de la biblioteca para realizar sus tareas escolares mediante el acceso a las colecciones en papel y consultas en Internet. Se ingresaron nuevos documentos al catálogo de biblioteca y se suscribió el acceso a revistas digitales y bases de datos de interés para los usuarios. Las novedades de la biblioteca se pueden consultar a través del sitio web de Cenicaña.

Biblioteca Digital

En abril de 2010 el Servicio de Información y Documentación de la Caña de Azúcar (Seica) inició el proyecto Biblioteca Digital de la Caña de Azúcar con el objetivo de contribuir a la gestión de conocimiento en el sector agroindustrial a través del acceso a colecciones digitales en los temas de caña de azúcar e industria azucarera y facilitar el acceso a la información técnica y científica pertinente según las necesidades de administración del cultivo y el proceso agroindustrial.

A través de la Biblioteca Digital se pretende recopilar y poner a disposición de la agroindustria azucarera colombiana gran parte del conocimiento explícito generado en el mismo sector. Es decir, todo aquel conocimiento que se reporta a través de informes, publicaciones, presentaciones, fotografías, videos y cualquier tipo de documento digital de importancia para los miembros de la agroindustria.

Antecedentes

En 1996 el Servicio de Tecnología Informática (Seti) de Cenicaña toma la iniciativa de digitalizar el material fotográfico que hace parte de los proyectos de investigación y la memoria institucional y lo empieza a almacenar en el programa Thumbplus®, a fin de conformar un banco de imágenes digital con respaldo análogo. El proyecto es retomado en 2002 por el Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología (Sctt), que se ocupa de recuperar las imágenes análogas distribuidas en las distintas áreas de Cenicaña para clasificarlas, digitalizarlas y describirlas, de forma que en 2003 se institucionaliza el sistema y se comienza a prestar el servicio de consulta en web, con facilidades de recuperación por palabras clave, a través de la red interna.

En 2003 Cenicaña celebra el lanzamiento oficial de su sitio web, administrado por el Sctt, que adelanta las tareas del caso para publicar en línea las series impresas editadas por el Centro, a través de archivos digitales en texto completo.

Durante 2007, el Seica –que en 1998 había comenzado a publicar en internet los registros de los documentos en papel disponibles en la biblioteca– adquiere el software SIABUC®, a través del cual asocia nuevos recursos digitales a las fichas referenciales y automatiza algunos procesos propios de la biblioteca. En cooperación con el Seti y el Sctt se genera el Catálogo de Biblioteca que integra, en el mismo sistema, el Catálogo de Publicaciones institucionales, de modo que a través de búsquedas en línea es posible recuperar los textos completos de los libros y series editadas por el Centro, los documentos de trabajo y los informes de gestión, investigación, tesis y pasantía. A partir de entonces se institucionalizan los procedimientos de registro, actualización y divulgación del acervo digital, gracias a lo cual es posible recuperar actualmente cerca de 600 documentos en texto completo.

En 2010 se da inicio al proyecto propuesto por el Seica para el desarrollo de la Biblioteca Digital de la Caña de Azúcar, a través del cual se busca incorporar en un solo sistema de base de datos la totalidad de las colecciones digitales que componen los distintos documentos producidos por Cenicaña, incluidas las ayudas visuales como presentaciones, videos, fotografías, gráficas e ilustraciones que hacen parte del conocimiento generado por la institución y que, por la dinámica de divulgación de las actividades del Centro, sigue diferentes canales para su diseminación. El propósito es convocar a otras instituciones de la agroindustria azucarera colombiana para que se unan a esta iniciativa de biblioteca digital con el objetivo de consolidar la memoria institucional del sector.

Avances del proyecto

El software seleccionado para el desarrollo de la biblioteca digital es DSpace, herramienta de código abierto, distribución y uso libre, que es utilizada por más de 800 organizaciones en Colombia y el mundo, entre ellos el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, que desarrolló DSpace en alianza con Hewlett-Packard), el Instituto Smithsonian, la Universidad de Cambridge, la Australian National

University y el proyecto de Biblioteca Digital Colombiana (BDCOL), entre otras referencias.

DSpace permite organizar los datos como ítems que pertenecen a una colección y administrar el acceso de comunidades a cada colección, con funcionalidades de confidencialidad en el manejo de la información, de manera que ésta se puede compartir en un grupo de trabajo, un área, una empresa, un sector o toda la sociedad.

La herramienta facilita la recuperación de cualquier recurso digital mediante metadatos (título, autor, institución, palabras clave), en más de 70 formatos de texto, imágenes, audio y video.

Durante 2010, en Cenicaña se llevaron a cabo actividades de instalación y pruebas del software, definición de contenidos, compilación de imágenes y videos, descripción de documentos, divulgación del proyecto y capacitación del personal, así como gestiones para incorporar el proyecto a la BDCOL.

Al finalizar el año, la Biblioteca Digital de la Caña de Azúcar contaba con 232 objetos digitales entre fotografías, videos y presentaciones. Este sistema facilita la administración de recursos y servicios digitales de información que tiene Cenicaña en internet, extranet e intranet, ayuda a la organización de la información producida en las diferentes áreas funcionales y ofrece nuevas opciones para compartir y difundir el conocimiento generado.

Recursos y servicios de información

Para beneficio de los usuarios, Cenicaña cuenta con la suscripción a 35 publicaciones, 31 de las cuales corresponden a revistas científicas internacionales, algunas de ellas con acceso en formato digital.

Así mismo, en 2010, por segundo año consecutivo, participó en el consorcio conformado por instituciones colombianas y la editorial holandesa Elsevier a través del cual se tiene acceso a las bases de datos ScienceDirect® y Scopus™ que ofrecen publicaciones científicas en formato digital (desde 1999), entre las que se destacan Biomass and Bioenergy, especializada en energías renovables, y Field Crop Research, en fisiología vegetal. El proyecto del consorcio ha sido liderado por Colciencias.

De igual forma, mantuvo la suscripción a la base de datos del programa AGORA (Acceso a la investigación mundial en línea sobre la agricultura) que proporciona más de mil publicaciones de las principales editoriales académicas del mundo sobre agricultura y ciencias biológicas, ambientales y sociales asociadas; algunas publicaciones se encuentran en texto completo. La información disponible se puede consultar en la biblioteca de Cenicaña, que además presta el servicio de envío de documentos por correo electrónico a los usuarios del sector azucarero.

Estadísticas del servicio

A través del Catálogo de Biblioteca y las bases de datos propias del servicio se puede tener acceso a 35,998 documentos, el 88% de los cuales corresponde a temas relacionados con caña de azúcar, industria azucarera y etanol.

Cuadro 13. Estadísticas del Servicio de Información y Documentación en 2010.

Adquisiciones	
Documentos recibidos	
Colección caña	39
Colección general	139
Revistas	563
Otras colecciones	28
Total en 2010	769
Registro y análisis	
Colección caña	
Base de datos caña	571
Total general	31,855
Colección General	
Base de datos libros	111
Total general	4621
Hemeroteca	
Publicaciones periódicas	7
Total general	705
Análisis	
Revistas registradas	563
Analíticas de revistas	908
Fichas elaboradas	25
Servicios a los usuarios	
Usuarios atendidos en sala	3102
Consultas atendidas por correo electrónico	536
Préstamos	
En sala de lectura	1698
A domicilio	1791
Total en 2010	3489
Distribuidos así:	
Revistas	1121
Documentos	1530
Equipos	838
Divulgación de información	
Páginas de contenido internas	20
Solicitud de fotocopias	42
Documentos electrónicos	436
Páginas fotocopiadas	527
Publicaciones donadas	938
Distribución de publicaciones seriadas	
Carta trimestral	1
Informe Anual	1

En 2010 el número de usuarios en la sala de lectura se mantuvo estable respecto al 2009, con un leve aumento de 4%. El servicio de consultas por correo electrónico aumentó en 9%, al igual que los documentos electrónicos enviados. La solicitud de fotocopias disminuyó en 9%.

En cuanto a los préstamos, el 51% fueron a domicilio y el 48%, para consulta en sala de lectura; 44% de los materiales en préstamo correspondieron a libros y documentos, el 32% a revistas y el 24% a equipos audiovisuales (Cuadro 13).

Ingenio Manuelita.

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 colombiano.*

Institucionalizar una cultura de bases de datos en la agroindustria azucarera colombiana y particularmente en Cenicaña ha sido el norte de las estrategias adelantadas en la última década en la prestación de los servicios de tecnología informática del centro de investigación.

En el informe de labores del año 1999 (Cenicaña, 2000) el objetivo explícito era tener como producto final un almacén de datos o *DataWarehouse*: reunir en una misma plataforma los datos de interés técnico y productivo generados por los ingenios azucareros y los cultivadores de caña, así como los datos de interés técnico y científico generados por las áreas funcionales de Cenicaña.

Con el apoyo de Colciencias, a través de recursos de cofinanciación en cuatro fases del Proyecto AEPS, Cenicaña ha fortalecido su capacidad de gestión de la tecnología informática en materia de software, hardware, conectividad y desarrollo de soluciones eficientes basadas en el análisis de datos históricos e interfaces de consulta en línea con orientación web.

Los alcances de las herramientas que se ofrecen en el Sistema de Información AEPS en <www.cenicana.org> tienen su origen en las bases de datos disponibles, las cuales han sido estructuradas para la gestión de información confiable, consistente y coherente, obtenida a partir de datos de distintas fuentes que se ordenan en un sistema de parámetros comunes y con cualidades relacionales.

Las bases de datos sustentan los servicios de información AEPS. Los sistemas de consulta a las bases de datos así como los nuevos desarrollos que se incorporan progresivamente en el sitio web tienen su punto de partida en las necesidades de información de los usuarios. De modo que sólo es posible estructurar bases de datos útiles y operativas cuando los objetivos de información de los usuarios se encuentran explícitos y como tal, son el punto de referencia permanente de todos los involucrados en el proceso de desarrollo de software.

En el continuo datos-análisis-información las oportunidades de mejoramiento de software disponible dependen del uso funcional de las soluciones propuestas. Es muy probable que en las herramientas con usuarios dedicados y frecuentes se actualicen las funciones más rápidamente, en contraste con aquellas que solo tienen usuarios ocasionales. Así mismo, es muy probable que los usuarios más interesados demanden o propongan desarrollos cada vez más sofisticados, lo que significa que las nuevas soluciones deben ser más efectivas y más eficaces, es decir más completas, integradas, rápidas y amigables.

Bases de datos y desarrollo de software

A continuación se presenta resumen de los aspectos más destacados de los proyectos de bases de datos y desarrollo de software adelantados por Cenicaña durante 2010.

Matriz de recomendaciones tecnológicas (MRT) con enfoque AEPS

Esta herramienta, que estará integrada al Sistema de Información AEPS en web, se proyecta como un recurso interactivo y multimedia de comunicación técnica de apoyo para la transferencia de tecnología, el aprendizaje continuo, la toma de decisiones de cambio varietal y manejo agronómico de la caña de azúcar y el control de calidad de las labores en sitios específicos. Hace parte de los productos esperados del Proyecto AEPS, cuarta fase (ver página 46).

Sistema de información de meteorología y climatología

Se avanzó en el análisis y el diseño del sistema y se inició el desarrollo requerido para la renovación tecnológica integral de los servicios de información derivados de la base de datos de la Red Meteorológica Automatizada (RMA). El objetivo es satisfacer las necesidades de información meteorológica y climatológica de los usuarios de la RMA, lo cual implica un acceso más eficiente y rápido a la base de datos, el diseño de interfaces amigables, opciones prácticas de análisis de datos según indicaciones del usuario, visualización e intercambio de información en distintos formatos y la publicación de boletines diarios complementados, en lo posible, con análisis concretos y comentados.

Sistemas de información de variedades y agronomía

De acuerdo con los avances en la implementación del Sistema de Información de Variedades (Sivar), durante 2010 fue posible hacer un examen más real y detallado acerca de la estructura de los datos en función de los requerimientos de registro, análisis y presentación de información experimental indicados por los usuarios. Con base en las conclusiones se tomó la decisión de replantear el desarrollo del sistema usando lenguajes PHP, Flash, J Query y Java Script, cambios que también fueron adoptados en el proyecto de desarrollo del Sistema de Información de Agronomía. De este modo se espera contar con un sistema unificado de gestión de los datos experimentales producidos en la investigación coordinada por Cenicaña; los datos tendrán una estructura común y ambos sistemas estarán completamente comunicados.

Sistema para la administración de proyectos institucionales

En el segundo semestre de 2010 se hizo la primera campaña de inducción dirigida a los usuarios potenciales del sistema, quienes se ocuparon de adelantar las tareas de registro de información en los módulos programados según la etapa del ciclo de vida de cada proyecto: Idea, anteproyecto, proyecto, gestión y transferencia de resultados. De acuerdo con las sugerencias de los usuarios se harán los ajustes del caso a fin de poner en funcionamiento esta herramienta de normalización de procesos relacionados con la administración integral de los proyectos de investigación y servicios de Cenicaña.

Biblioteca digital de la caña de azúcar

En este proyecto se adoptó el software DSpace, el cual ha sido estudiado de modo detallado en Cenicaña con el fin de adaptarlo a las necesidades institucionales. Durante 2010 se hizo el reconocimiento del sistema y se llevaron a cabo actividades de instalación y pruebas del software, entre otras tareas de apoyo (ver página 134).

Seguridad informática

El número de amenazas de informática se incrementa cada año de manera significativa, con datos a octubre de 2010 que mencionan al menos 20 millones de nuevos ejemplares de software malicioso en internet.

Para minimizar la posibilidad de infección en la red interna de Cenicaña se han implementado tecnologías en los servidores, filtros en el tráfico en internet, herramientas antivirus, antispam y antispyware, políticas de filtrado diferentes por IP y gestión de informes.

Indicadores de servicios

En el segundo trimestre de 2010 se puso en operación un aplicativo propio, diseñado para el seguimiento de solicitudes de servicios y la generación de indicadores de la gestión relacionada (Figura 26). Esta herramienta proporciona información técnica útil para el mejoramiento continuo de los servicios de tecnología informática de Cenicaña.

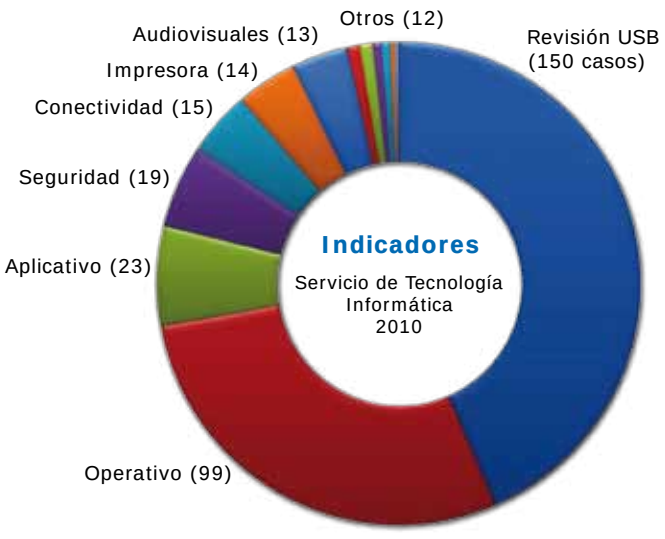


Figura 26. Atención de servicios de tecnología informática en Cenicaña, entre abril y junio de 2010.

Superintendencia de la Estación Experimental y Laboratorios

La Superintendencia presta el apoyo logístico para el normal desarrollo de los experimentos de investigación de Cenicaña, mediante la provisión de espacions adecuados, trabajadores de campo competentes, equipos funcionales y sistemas de información confiables.

En la Estación Experimental, el Centro cuenta con seis laboratorios de investigación y servicios, donde se atienden los requerimientos de Cenicaña y las solicitudes específicas de los productores donantes: Laboratorios de Química, Análisis de Caña, Fitopatología, Entomología, Biotecnología y Microbiología.

Aniversario de Cenicaña en la Estación Experimental, septiembre de 2010.

Museo de la caña de azúcar,
hacienda Piedechinche.

Anexo

146 I. Documentos registrados en la base de datos bibliográfica

150 II. Resumen de actividades de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT)

153 III. Acuerdos y convenios interinstitucionales

154 IV. Contratos y regalías

155 V. Proyectos cofinanciados por otras entidades

156 VI. Capital humano

156 VII. Programa de formación de jóvenes investigadores

157 VIII. Personal profesional

I. Documentos registrados en la base de datos bibliográfica

Las referencias que se listan a continuación corresponden a los documentos elaborados por el personal de Cenicaña como parte de sus actividades en la institución y que fueron registrados en la base de datos bibliográfica durante 2010. Los documentos en texto completo pueden ser consultados en ‹www.cenicana.org› por los usuarios registrados, en la sala de lectura de la Biblioteca Guillermo Ramos Núñez ubicada en la estación experimental de Cenicaña o mediante la solicitud de envío de fotocopias o archivos electrónicos.

Agronomía

Carbonell González, J.A. 2010. **Variabilidad espacial, características físicas y químicas de los suelos en el valle del río Cauca, muestreo de suelos y equipos de aplicación variable**. p. 197-206. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Bolívar Nieto, J.G. 2010. **Evaluación de la compactación ocasionada por los equipos de cosecha y transporte de caña de azúcar. Informe final del contrato pasantía.** Cali: Universidad Nacional de Colombia; Cenicaña. 38 p. Luis Arnoby Rodríguez. Tutor.

Campos Rivera, A. y Cruz Bermúdez, D.M. 2010. **Riego con caudal reducido**. En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (ene.-jun.). p.13-22.

Campos Rivera, A. y Cruz Bermúdez, D.M. 2010. **Riego con caudal reducido: una opción para el piedemonte**. p.10-11. En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciencia y Tecnología para la Competitividad del Sector Agropecuario 2002-2010. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 197 p.

Campos Rivera, A.; Cruz Bermúdez, D.M. y Torres Aguas, J.S. 2010. **Irrigation sugarcane with very low furrow inflow rates**. p. 194-197. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Cruz Valderrama, J.R. 2010. **Tecnologías de riego para el uso eficiente y sostenible del agua en el sector cañicultor**. En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (ene.-jun.). p.5-22.

Cruz Valderrama, R.; Torres, J.S.; Fragoso, I.C.; Mesa, J.H. y Delvasto, D. 2010. **Drip irrigation frequency for sugarcane in the tropics**. p. 174-182. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Cruz Valderrama, R. 2010**. Sistema agua - suelo**. 28 p. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Nova Pérez, M. 2010. **Riego con caudal reducido. Informe final del contrato pasantía. Junio-Octubre 2010**. Cali: Universidad del Valle; Cenicaña. 2010. 20 p. Armando Campos y Doris Micaela Cruz. Tutores.

Rodríguez Hurtado, L.A. 2010. **Los sistemas de preparación de suelos.** p. 21-24. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Torres Aguas, J.S.; Villegas Trujillo F. y Durán Sanclemente, A. 2010. **Modified dual row planting systems for green cane management in the tropics**. p. 325-331. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Torres Aguas, J.S.; Villegas Trujillo F. y Durán Sanclemente, A. 2010. **Modified dual row planting systems for green cane management in the tropics**. p. 325-331. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Villegas Trujillo, F. 2010. **Maduración y crecimiento de la caña de azúcar**. En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (ene.-jun.). p.47-54.

Agricultura específica por sitio

Carbonell González, J.A.; Osorio Murillo, C.A. y Ramírez Franco, J.M. 2010. **Monitoring the harvesting of sugarcane and generation of yield maps in real time**. 136-145. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Isaacs Echeverri, C.H.; Carbonell González, J.A.; Zamorano Álvarez, D.; González Buriticá, L.E.; Londoño Arango, S. y Castillo Beltrán, S.V. 2010. **Agricultura específica por sitio. Cuarta fase. Segundo informe técnico.** Contrato Colciencias-Cenicaña. Proyecto 2214-452-21079; Convenio 471-2008. Cali: Cenicaña. 91 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. 2010. **Agricultura Específica por sito. Cuarta fase. Tercer informe Técnico.** Cali: Contrato Colciencias-Cenicaña. Proyecto 2214-452-21079; Convenio 471-2008. Cali: Cenicaña. 171 p.

Sánchez, M.; Cock, J.H.; Sánchez, J.D.; Amaya Estévez, A.; Isaacs Echeverri, C.H.; Anderson Acuña, E.; Pérez Uribe, C.A.; Jiménez Rodas, D.R.; Satizabal Mejía, F. Barreto Suárez, M.A. y Jarvis, A. 2010. **Modelos bioinspirados para agricultura específica por sitio en caña de azúcar y frutas tropicales**. p.120-121. En: Ciencia y Tecnología para la Competitividad del Sector Agropecuario. 2002-2010. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Torres Aguas, J.S.; Cruz Valderrama, R. 2010. **Soil moisture groups for sugarcane management**. p.167-173. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Biotecnología

Gutiérrez Viveros, A.F. **Búsqueda de marcadores moleculares asociados con resistencia al virus de la hoja amarilla en la caña de azúcar (Sugarcane Yellow Leaf Virus, SCYLV)**. Cali: Cenicaña. 23 p. Jershon López-Gerena. Tutor.

Gutiérrez Viveros, A.F. 2010. **Búsqueda de la variabilidad genética de la roya café (*Puccinia melanocephala*) presente en los cultivos de caña de azúcar por medio de técnicas moleculares**. Cali: Cenicaña. 22 p. Jershon López-Gerena. Tutor.

López Gerena, J. 2010. **Marcadores moleculares para la identificación de QTL asociados a la producción de sacarosa en variedades colombianas *Saccharum* spp. Quinto informe técnico.** Contrato Colciencias-Cenicaña. Código 221-07-18439; Contrato: 261-2006. Cali: Cenicaña. 26 p.

López Gerena, J. 2010. **Marcadores moleculares para la identificación de QTL asociados a la producción de sacarosa en variedades colombiana de *Saccharum* spp. Cuarto informe técnico.** Avances y resultados. Contrato Colciencias-Cenicaña. Código 221-07-18439; Contrato: 261-2006. Cali: Cenicaña. 42 p.

López Gerena, J. 2010. **Identificación de promotores en el genoma de la caña de azúcar *Saccharum* spp**. **Segundo informe técnico.** Contrato Colciencias-Cenicaña. Código 221-452-21270. Cali: Cenicaña. 17 p.

Perenguez Verdugo, M.N. 2010. **Optimización de las metodologías de recuento de microorganismos de suelo y diagnóstico molecular del virus de la hoja a amarilla (SCYLV) y el virus del mosaico (SCMV) mediante RT-PCR doble en muestras asociadas al cultivo de la caña de azúcar. Informe final pasantía**. Cali: Universidad del Valle; Cenicaña. 32 p. Marcela Cadavid Ordoñez y Juan Carlos Ángel Sánchez. Tutores.

Corte de caña, alce, transporte y entrega a fábrica

Bravo, J.E.; Estrada Bedón, A.; Gómez Perlaza, A.L.; Isaacs Echeverri, C.H.; Castro Fori, P.W. y Bejarano R.L. 2010. **Medición experimental y evaluación económica del consumo de combustible en equipos de transporte de caña**. En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (ene.-jun.) p.55-59.

Carbonell González, J.A. 2010. **Zonas potenciales para la cosecha mecanizada y requerimientos de cosechadoras.** p. 34-44. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Cruz Valderrama, J.R. y Gómez González, A. 2010. **Adecuación de campos para cosechas manual y mecanizada: Parte 1. Diseño de campo.** p. 8-13. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Gómez Perlaza, A.L. 2010. **Actividades en diseño de vagones de autovolteo**. p. 225-234. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Gómez Perlaza, A.L. 2010. **Actividades de investigación para apoyo al diseño de vagones de transporte de caña.** p. 215-224. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Gómez Perlaza, A.L. 2010. **Generalidades del enfoque de gestión**. p. 296-329. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; SENA; Asocaña.

Gómez perlaza, A.L. 2010. **Sistema de descarga**. p. 258-271. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Gómez Perlaza, A.L.; Cobo Barrera, D.F.; Castro Fori, P.W. and Isaacs Echeverry, C.H. 2010. **Improvements to a sugar road transportation system**. p. 1543-1552. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Larrahondo Aguilar, J.E. 2010. **Calidad de la caña de azúcar y su impacto en el proceso fabril.** p. 272-295. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Rodríguez Hurtado, L.A.; Valencia Montenegro, J.J. y Urbano, J.A. 2010. **Las llantas y su incidencia en la compactación del suelo.** p. 85-91. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Rodríguez Hurtado, L.A.; Valencia Montenegro, J.J. y Bolívar Nieto, J.G. 2010. **Tráfico de equipos de cosecha, compactación y efectos superficiales**. p. 92-99. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Villegas Trujillo, F. 2010. **Indicadores de eficiencia de las cosechadoras y calidad del corte mecanizado.** p. 53-65. En: Seminario Internacional de Cosecha de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. Noviembre de 2010. Tecnicaña; Sena; Asocaña.

Estadísticas de producción

Palma Zamora, A.E.; Cortés Betancourt, E. y Calero Salazar, L. 2010. **Producción de caña y azúcar en el valle del río Cauca durante 2009**. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Informe anual 2009. Cali: Cenicaña. p. 7-17.

Palma Zamora, A.E.; Gil Zapata, N. y Cortés Betancourt, E. 2010. **Producción de caña y azúcar en el valle del río Cauca durante el primer trimestre de 2010**. Disponible en <www.cenicana.org/comercial_/pn_comercial/pn_ccial_ene_mar_2010.php> consultado el 07-12-2010.

Palma Zamora, A.E.; Gil Zapata, N. y Cortés Betancourt, E. 2010. **Producción de caña y azúcar en el valle del río Cauca durante el primer semestre de 2010**. Disponible en <www.cenicana.org/comercial_/pn_comercial/pn_ccial_ene_jun_2010.php> consultado el 07-12-2010.

Palma Zamora, A.E.; Gil Zapata, N. y Cortés Betancourt, E. 2010. **Producción de caña y azúcar en el valle del río Cauca durante el tercer trimestre de 2010**. Disponible en <http://www.cenicana.org/comercial_/pn_comercial/pn_ccial_ene_sep_2010.php> consultado el 07-02-2011.

Geomática

Murillo Sandoval, P.J. y Carbonell González, J.A. 2010. **Monitoreo del cultivo de la caña de azúcar por medio de la percepción remota. Cuarto informe técnico. Avances y resultados.** Contrato Colciencias-Cenicaña. Código: 2214-405-20288. Cali: Cenicaña. 53 p.

Murillo Sandoval, P.J.; Carbonell González, J.A. 2010. **Monitoreo del cultivo de la caña de azúcar por medio de la percepción remota**. **Quinto informe técnico. Avances y resultados.** Contrato Colciencias-Cenicaña. Código: 2214-405-20288. Cali: Cenicaña. 16 p.

Informes de gestión

Amaya Estévez, A. 2010. **Informe de gestión del Director General a diciembre 31 de 2009**. Cali: Cenicaña. 13 p.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. 2010**. Informe anual 2009**. Cali: Cenicaña. 105 p.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. 2010. **Programa 2011. Proyectos, hechos destacados y proyecciones**. Cali: Cenicaña. 229 p. Documento de trabajo, no.717.

Microbiología industrial

Laguado Sanguino, J.A. 2010. **Aislamiento y caracterización de microorganismos a partir de fuentes de biomasa lignocelulósica con capacidad de metabolizar pentosas para la producción de etanol**. Tesis Ingeniera Biotecnológica. Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente. San José de Cúcuta, Colombia. 171 p. Edgar Fernando Castillo Monroy. Director.

Perea Calderón, C.A. 2010. **Evaluación de la producción de etanol a partir de glucosa y xilosa de microorganismos aislados de residuos lignocelulósicos. Informe final pasantía.** Cali: Pontificia Universidad Javeriana; Cenicaña. 49 p. Tatiana Daza Merchán y Nicolás Gil Zapata. Tutores.

Nutrición y fertilización

Larrahondo Aguilar, J.E. 2010. **Caracterización de la vinaza, usos y aprovechamientos potenciales**. p.58-79. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Muñoz Arboleda, F. y Quintero Durán, R. 2010. **Trash management after green cane harvesting and its effect on productivity and soil respiration**. p. 417-424. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Muñoz Arboleda, F. 2010. **Aplicaciones foliares: algunas consideraciones.** p. 116-119. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Muñoz Arboleda, F. 2010. **El suelo y la sostenibilidad para la caña de azúcar: la materia orgánica en el suelo.** p. 15-17. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Muñoz Arboleda, F. 2010. **Fertilizantes de síntesis química: elementos mayores y menores**. p. 58-77. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Muñoz Arboleda, F. 2010. **Monitoreo de aplicación de vinaza y compost, convenio CVC - Asocaña**. 13 p. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Muñoz Arboleda F. 2010. **Necesidades nutricionales de la caña de azúcar: extracción de elementos mayores y menores.** p. 54-57. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Muñoz Arboleda, F. 2010. **Los residuos de la cosecha de la caña de azúcar**. p. 18-20. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Villegas Trujillo, F. 2010. **Productos hormonales. Aplicación de bioestimulantes en caña de azúcar.** p. 120-128. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Villegas Trujillo, F. 2010. **Sistema radical de la caña de azúcar**. p. 8-14. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Procesos fabriles: azúcar, etanol y cogeneración

Castillo Monroy E.F.; Gómez Perlaza, A.L.; Cobo Barrera, D. y Aguirre Ortiz, C.A. 2010. **Cogeneration potential in Colombian sugar mills**. p. 1156-1163. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Castillo Monroy E.F.; Larrahondo Aguilar, J.E.; Gómez Perlaza, A.L. y Socarrás Díaz, J.I. 2010. **The Colombian experience in the production of bioetanol for transport use**. p. 1215-1223. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Castillo Monroy E.F.; Gil Zapata, N. y Calero Salazar, L.M. 2010. **An analytical overview of the historical evolution of some performance indexes of the Colombian sugar mills**. p.1822-1828. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Química analítica

Bolívar Henao, A.A. 2010. **Implementación del protocolo para la determinación de prolina en tejido de caña de azúcar, utilizando como método primario el colorimétrico de Bates L. Waldren y como método secundario el NIR. Informe final.** Cali: Universidad Santiago de Cali; Cenicaña. 52 p. Jesús Eliécer Larrahondo. Carlos Arturo Viveros Valens. Tutores.

Larrahondo Aguilar, J.E. 2010. **El análisis de suelos**. 98 p. En: Curso de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar. Memorias. Cali. Colombia. 8-15 de septiembre de 2010. Tecnicaña, Cali, Colombia.

Sanidad vegetal

Ángel Sánchez, J.C.; Cadavid Ordoñez, M. y Victoria Kafure, J. I. 2010. **Roya naranja en el valle del río Cauca**. En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (ene.-jun.) p.2-3.

Ángel Sánchez, J.C.; Cadavid Ordoñez, M. y Victoria Kafure, J.I. 2010. **Presencia de roya naranja (*Puccinia kuehnii*) en el Valle del Cauca y estrategias para su manejo. Primer informe de avance.** Cali: Cenicaña. 13 p. Documento de Trabajo, no.715.

Ángel Sánchez, J.C.; Gutiérrez Viveros, A.F.; López Gerena, J.; Guzmán Romero, M.L.; Cardona Giraldo, L.M. y Victoria Kafure, J.I. 2010. **Monitoring the severity variability of brown rust (*Puccinia melanocephala*) in sugarcane varieties in the Cauca Valley, Colombia**. p. 1069-1079. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

García Díaz, A. 2010. **Evaluación de parámetros poblacionales de *Aeneolamia varia*, criado en una casa de malla sobre *Brachiaria* y caña de azúcar. Informe final pasantía**. Cali: Pontificia Universidad Javeriana; Cenicaña. 35 p. Alex Enrique Bustillo y Ulises Castro. Tutores.

Mera Ramírez, A. 2010**. Evaluación visual y por microscopía óptica de roya naranja y roya café en el banco de germoplasma de caña de azúcar. Informe de pasantía.** Cali: Universidad del Valle; Cenicaña. 18 p. Marcela Cadavid Ordoñez y Juan Carlos Ángel Sánchez. Tutores.

Montaño Carvajal. P.A. 2010. **Multiplicación varietal con semilla libre de patógenos. Informe de Práctica.** Cali: Universidad Nacional de Colombia; Cenicaña. 27 p. Juan Carlos Ángel Sánchez y Carlos Germán Muñoz Perea. Tutores.

Montaño Carvajal. P.A. 2010**. Multiplicación varietal con semilla libre de patógenos. Informe de Pasantía**. Cali: Universidad Nacional de Colombia; Cenicaña. 25 p. Juan Carlos Ángel Sánchez y Carlos Germán Muñoz Perea. Tutores.

Responsabilidad social empresarial

Jaramillo Ramírez, N.; Arango Botero, J.; Lozano Bustos P.A.; Carrillo Camacho, V.E.; Montoya Angulo, M.L.; Cadavid Cadavid, A.; Bedoya Velásquez, J.A.; Martán González, V. y Nieto Collazos, G.E. 2010. **Intercambio de experiencias Chile-Colombia en comunicación corporativa y responsabilidad social empresarial**. Cali: Cenicaña. 12 p.

Transferencia de tecnología

Amaya Estévez, A. 2010. **Sugarcane research and technology transfer strategies for the next decade**. p.40-48. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali. 2010. **El reto de la adopción de tecnologías de riego. Acciones de capacitación y transferencia del conocimiento técnico**. En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (ene.-jun). p.4.

Isaacs Echeverri, C.H.; Castillo Beltrán, S.V.; Carrillo Camacho, V.E.; Mosquera Daza, L.A. y Franco Mejía, A. 2010. **Technology transfer groups and their impact on technology innovation in the sugar agroindustry in the Cauca Valley, Colombia.** p. 2048-2061. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

Variedades de caña de azúcar

Arango Arias, W.S. 2010. **Estimación de la cantidad de polen viable de la caña de azúcar utilizando el método de Cenicaña. Informe final pasantía.** Cali: Universidad Nacional de Colombia; Cenicaña. 7 p. Carlos Arturo Viveros Valens. Tutor.

Mora Vivas, S.E. 2010. **Seguimiento al proceso de obtención de variedades de caña de azúcar para zona húmeda. Informe estudiante en práctica**. Cali: Universidad Nacional de Colombia; Cenicaña. 12 p. Carlos Arturo Viveros Valens. Tutor.

Rodríguez Valencia, J.I. 2010. **Análisis de la información existente en el programa de variedades SIVAR. Informe final pasantía.** Cali: Universidad Nacional de Colombia; Cenicaña. 9 p. Fredy Antonio Salazar Villareal. Tutor.

Salazar Villareal, F.A. y Victoria Kafure, J.I. 2010. **Validación de modelos estadísticos multivariados en el proceso de selección de variedades de caña de azúcar. Caso: variedad CC 85-92**. En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (ene.-jun.). p. 40-46.

Salazar Villareal, F.A.; López Zúñiga, L.O.; Viveros Valens, C.A.; Ángel Sánchez, J.C.; Castro Valderrama, U. y Victoria Kafure, J.I. 2010. **Resultados de la primera soca de la prueba regional en zonas secas-semisecas con variedades de las Series 97 al 01.** En: Carta Trimestral. 32, 1-2, (Ene.-Jun.). p.23-46.

Victoria Kafure, J.I.; Viveros Valens, C.A.; Ángel Sánchez, J.C.; Ranjel Jiménez, H.; Osorio, C.A.; Besosa Tirado, R.; Cuervo, L.E. y Barona Murillo, G. 2010. **Development of sugarcane varieties in Colombia for site-specific agriculture**. p.646-654. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 27. Proceedings. Veracruz. México. March 7-11, 2010. ISSCT.

II. Resumen de actividades de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT)

Ingenio/Evento	Asistentes y expositores
Ingenio Carmelita	
Efectos del fenómeno de "El Niño" y estrategias de manejo agronómico para la caña de azúcar. Conferencias: Abr. 29	28 cañicultores asistentes. Exp: E. Cortés, A. Campos, F. Muñoz y F. Villegas (Cenicaña)
Responsabilidad social empresarial. Conferencias: May. 28	20 cañicultores asistentes. Exp: C. Calero (Asocaña), J. Buitrón (Asesor independiente)
Riego con caudal reducido. Día de campo: Sep. 22	19 cañicultores asistentes. Exp: A. Campo y D. Cruz (Cenicaña)
Incauca	
Relaciones con la comunidad y Responsabilidad Social Empresarial. Conferencias: May. 13 y 22	52 cañicultores asistentes. Exp: T. Siachoque (Ingenio), M. Muñoz (Asesor institucional)
Paquete tecnológico por zona agroecológica. Plagas de la caña de azúcar. Sanidad vegetal: Roya naranja. Conferencias: Ago. 5 y 12	120 cañicultores asistentes. Exp: L. Cuervo, Y. Gutiérrez (Ingenio), J. Ángel (Cenicaña)
Optimización de la productividad en fincas de proveedores. Día de campo: Oct. 27 y 28	125 cañicultores asistentes. Exp: A. Lince (Cañicultor), J. Parra y L. Concha (Ingenio).
Manejo de caña en condiciones de alta humedad. Conferencias: Dic. 16	142 cañicultores asistentes. Exp: L. Cuervo (Ingenio), F. Muñoz.
Ingenio La Cabaña	
AEPS: Validación de tecnología, zona agroecológica 10H4 Día de campo: Sep. 16	53 cañicultores asistentes. Exp: S. Castillo (Cenicaña)
Ingenio Manuelita	
AEPS: Validación de tecnología, zona agroecológica 11H0, fertilización. Día de campo: Feb. 18	45 cañicultores asistentes. Exp: S. Castillo (Cenicaña)
Aspectos técnicos y administrativos para mejorar la rentabilidad de una finca productora de caña. Conferencias: Abr. 8	52 cañicultores asistentes. Exp: S. Castillo (Cenicaña), G. Reyes (Asesor independiente)
AEPS: Variedades promisorias y validación de tecnología, zona agroecológica 11H0. Sanidad vegetal: Roya naranja. Día de campo: Ago. 19	40 cañicultores asistentes. Exp: Y. Peralta (Ingenio), S. Castillo, J. Victoria (Cenicaña)
Ingenio Mayagüez	
Indicadores de gestión en el manejo y uso del recurso hídrico. Día de campo: Abr. 15	36 cañicultores asistentes. Exp: G. Medina (Ingenio), J. Cruz y A. Campos (Cenicaña), O. Azcuntar (CVC)
Políticas y criterios de maduración en caña de azúcar. Día de campo: Jun. 24	50 cañicultores asistentes. Exp: J. Bohórquez (Ingenio), F. Villegas (Cenicaña)
Avances y resultados en el uso de vinazas y compost en caña de azúcar. Día de campo: Ago. 25	41 cañicultores asistentes. Exp: J. Bohórquez (Ingenio), F. Muñoz (Cenicaña)
Balance Hídrico, un servicio para los proveedores del Ingenio Mayagüez. Conferencias: Nov. 3	65 cañicultores asistentes. Exp: M. Bryon, G. Criollo (Ingenio), C. Isaacs (Cenicaña), M. Fernández (CVC)

Continúa

Ingenio/Evento	Asistentes y expositores
Ingenio Pichichí	
Efecto del clima en la producción y manejo del recurso hídrico. Conferencias: Feb. 12	32 cañicultores asistentes. Exp: J. Martínez, A. Durán (Ingenio), A. Campos, E. Cortés (Cenicaña)
AEPS: Validación de tecnología, zona agroecológica 6H1. Legislación ambiental y responsabilidad social en la industria de la caña de azúcar. Día de campo: May. 26	40 cañicultores asistentes. Exp: S. Castillo (Cenicaña), C. Calero (Asocaña), M. Muñoz (Asesor institucional)
Avances en los procesos industriales. Efecto del clima en la productividad. Día de campo: Sep. 22	45 cañicultores asistentes. Exp: J. Lizarazo (Ingenio), N. Gil, D. Cobo, A. Palma (Cenicaña)
Ingenio Providencia	
Recomendaciones estratégicas para el manejo del cultivo bajo las condiciones climáticas actuales. Panorama económico del azúcar y el etanol, 2010. Daño de *Diatraea* en el Ingenio Providencia. Conferencias: Mar. 25	115 cañicultores asistentes. Exp: J. Rojas, V. Borrero, Y. Gutiérrez y (Ingenio), R. Cruz (Cenicaña)
Optimización de la productividad en fincas de proveedores: Experiencia en haciendas el Limón y Palmar Payeras. Responsabilidad social empresarial. La materia orgánica en el suelo. Conferencias: Jun. 23	70 cañicultores asistentes. Exp: A. Payeras (Cañicultora), F. Muñoz (Cenicaña), C. Calero (Asocaña)
Avances en variedades promisorias. Día de campo: Oct. 20	40 cañicultores asistentes. Exp: E. Sánchez, O. Delgado y (Ingenio), J. Victoria (Cenicaña)
Riopaila Castilla (Planta Castilla)	
Efectos del fenómeno de "El Niño" y estrategias de manejo agronómico en caña de azúcar. Conferencias: Mar. 12	48 cañicultores asistentes. Exp: E. cortés, A. Campos, F. Muñoz, F. Villegas (Cenicaña), A. Rodríguez (Asocaña)
Variedades promisorias por zona agroecológica. Día de campo: May. 11	43 cañicultores asistentes. Exp: J. Rojas (Ingenio), L. López (Cenicaña)
Criterios para la renovación de plantaciones. Pacto Global, BSI y erradicación del trabajo infantil. Conferencias: Jul. 13	50 cañicultores asistentes. Exp: J. Caicedo, A. Vásquez, A. Agudelo (Ingenio), S. Castillo (Cenicaña), A. Navia (Asocaña)
Lanzamiento oficial de la Unidad de Asistencia Técnica a Proveedores (UATP). Resultados de agricultura de precisión. Seguimiento a la adopción de tecnologías. Conferencias: Oct. 20	39 cañicultores asistentes. Exp: E. Romero, A. Agudelo, C. Mosquera (Ingenio), C. Isaacs (Cenicaña)
Manejo de plagas y enfermedades. Información acuerdo crediticio con el Banco Agrario de Colombia. Conferencias: Dic. 14	47 cañicultores asistentes. Exp: A. Bohórquez, R. Palomino (Ingenio), A. Bustillo, J. Ángel (Cenicaña), R. Gómez, E. Ángel (Banco Agrario de Colombia)
Riopaila Castilla (Planta Riopaila)	
Efectos del fenómeno de "El Niño" y estrategias de manejo agronómico en caña de azúcar. Conferencias: Mar. 18	13 cañicultores asistentes. Exp: E. cortés, R. Cruz, F. Muñoz, F. Villegas (Cenicaña), A. Rodríguez (Asocaña)
Paquete tecnológico por zona agroecológica. Metodología para estimar la intensidad de infestación de los barrenadores, *Diatraea* spp. Conferencias: May. 20	40 cañicultores asistentes. *Exp: J. Caicedo (Ingenio), A. Bustillo (Cenicaña)*

Continúa

Ingenio/Evento	Asistentes y expositores
Criterios para la renovación de plantaciones. Pacto Global, BSI y erradicación del trabajo infantil. Conferencias: Jul. 8	48 cañicultores asistentes. Exp: A. Mosquera, A. Agudelo, A. Cadavid, N. Aguirre (Ingenio), C. Posada (Cenicaña), A. Navia (Asocaña)
Lanzamiento oficial de la Unidad de Asistencia Técnica a Proveedores (UATP). Seguimiento a la adopción de tecnologías. Conferencias: Oct. 28	41 cañicultores asistentes. Exp: A. Agudelo, E. Romero, C. Mosquera (Ingenio), M. Estrada (Cenicaña)
Manejo en condiciones de alta húmeda. Información acuerdo crediticio con el Banco Agrario de Colombia. Conferencias: Dic. 16	105 cañicultores asistentes. Exp: J. Molina, A. Bohórquez, A. Ojeda (Ingenio), R. Cruz (Cenicaña), E. Ángel, H. Alzate (Banco Agrario de Colombia)
Ingenio Risaralda	
Efectos del fenómeno de “El Niño” y estrategias de manejo agronómico para la caña de azúcar. Conferencias: Mar. 19	39 cañicultores asistentes. Exp: E. Cortes, A. Campos. F. Muñoz, F. Villegas (Cenicaña), A. Rodríguez (Asocaña)
AEPS y variedades promisorias Conferencias: Abr. 14	32 cañicultores asistentes. Exp: J. Victoria, C. Isaacs (Cenicaña)
Ingenio Sancarlos	
Manejo y administración del recurso hídrico. Día de campo: Mar. 4	7 cañicultores asistentes. Exp: M. Lozano (Cañicultor), C. Rincón (Ingenio), R. Cruz (Cenicaña).
AEPS: Validación de tecnología, zona agroecológica 6H1. Día de campo: May. 5	9 cañicultores asistentes. Exp: L. Andrade (Ingenio), M. Estrada (Cenicaña)
Control y calidad de labores mecanizadas en caña de azúcar. Día de campo: Ago. 26	18 cañicultores asistentes. Exp: A. Varela (Cañicultor), J. Vivas (Ingenio), A. Rodríguez (Cenicaña)
Renovación de plantaciones. Programa de manejo de envases vacíos. Conferencias: Nov. 9	10 cañicultores asistentes. Exp: J. Vivas, R. Valdés, V. Palacios (Ingenio), S. Castillo (Cenicaña), E. Arango (Corporación Campo Limpio)

III. Acuerdos y convenios interinstitucionales

(Vigentes al 31 de diciembre de 2010)

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

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

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

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

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.

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 Alcoholera (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.

IV. Contratos y regalías

(Vigentes al 31 de diciembre de 2010)

Ingenio Central Castilla. Contrato de Comodato entre Ingenio Central Castilla S.A. y Cenicaña mediante el cual el ingenio entrega un lote de 10 hectáreas para la siembra de semilleros. Otrosí No.2 firmado el 30 de noviembre de 2004 por el término de 10 años.

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.

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.

V. Proyectos cofinanciados por otras entidades

No.	Proyecto	Entidad	Contrato (No.)	Vigencia		Coordinador en Cenicaña
				mm/aaaa	mm/aaaa	
1	Marcadores moleculares para la identificación de QTL´s asociados con la producción de sacarosa en variedades colombianas de caña de azúcar	Colciencias	261-2006	Febrero/ 2008	Febrero/ 2011	Jershon López Gerena
2	Monitoreo del cultivo de la caña de azúcar por medio de percepción remota	Colciencias	407-2007	Enero/ 2008	Febrero/ 2011	Javier Alí Carbonell González
3	Identificación de promotores en el genoma de caña de azúcar	Colciencias	279-2008	Febrero/ 2009	Febrero/ 2011	Jershon López Gerena
4	Agricultura Específica por Sitio, Fase IV	Colciencias	471-2008	Febrero/ 2009	Agosto/ 2011	Camilo H. Isaacs Echeverry
5	Programa Jóvenes Investigadores. Proyecto: Generación de una respuesta adaptativa para la tolerancia de altas concentraciones de vinazas por parte de las levaduras nativas con capacidad alcoholera	Colciencias	827-2009	Abril/ 2010	Abril/ 2011	Nohra Pérez Castillo
6	Utilización de hongos entomopatógenos para el control del salivazo *Aenolamia varia* (Hemiptera:Cercopidae)	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	141-2008P4896-4070	Agosto/ 2008	Agosto/ 2011	Alex Bustillo Pardey
7	Uso de la resistencia genética de la caña de azúcar al ataque del salivazo *Aeneolamia varia*, como componente del manejo integral de la plaga	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	213-2008G42065-6647	Enero/ 2009	Diciembre/ 2011	Alex Bustillo Pardey
8	Uso de nemátodos entomopatógenos para el manejo del salivazo de la caña de azúcar *Aeneolamia varia* (Hemiptera:Cercopidae)	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	212-2008G42065-6618	Diciembre/ 2008	Diciembre/ 2011	Alex Bustillo Pardey
9	Evaluación de la compactación causada por los equipos de cosecha y transporte de caña	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	147-2008P5903-4047	Junio/2008	Junio/2011	Javier Alí Carbonell González
10	Riego con caudales reducidos: una opción para el piedemonte	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	148-2008P5903-4048	Julio/2008	Julio/2011	Javier Alí Carbonell González
11	Aislamiento, caracterización y mejoramiento genético a levaduras salvajes que toleran la recirculación de las vinazas con miras a incrementar la productividad de etanol carburante en las plantas del Valle.	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	014-2008D3601-3922	Julio/2008	Julio/2011	Nicolás Javier Gil Zapata
12	Utilización de microorganismos para la producción de etanol a partir de azúcares obtenidos de residuos de caña de azúcar	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	010-200803210-3466	Junio/2008	Junio/2011	Nicolás Javier Gil Zapata
13	Hidrólisis de residuos de caña de azúcar para la obtención de azúcares simples como materia prima para la producción de etanol	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	047-200703718-346-07	Febrero/ 2008	Febrero/ 2012	Nicolás Javier Gil Zapata

VI. Capital humano

Cenicaña contó durante 2010 con un equipo humano integrado por 196 personas, entre administradores, investigadores, profesionales y auxiliares de apoyo en investigación y servicios, jóvenes investigadores y profesionales en formación, trabajadores de campo, estudiantes universitarios en pasantía y trabajo de grado y aprendices del Sena.

- El grupo de personal con responsabilidades administrativas, de investigación y servicios estuvo conformado por 70 profesionales, 34 auxiliares y 66 trabajadores de campo. El grupo de personal en formación estuvo integrado por cinco profesionales jóvenes, 15 estudiantes universitarios y seis aprendices del Sena.
- Según el grado de formación académica, durante el año se vincularon en el grupo de personal profesional 13 personas con doctorado, 13 con maestría y 44 con pregrado.
- Mediante apoyo económico o de tiempo académico, dos profesionales continuaron sus estudios de doctorado y cuatro, sus estudios de maestría.
- En el marco del Programa de Formación de Jóvenes Profesionales se inició la capacitación de cinco profesionales de distintas disciplinas con el concepto de "aprender haciendo". Uno de ellos fue contratado por Cenicaña y cuatro de ellos, con la cofinanciación de Cenicaña y los ingenios Incauca, Providencia y Riopaila Castilla.
- Durante 2010 se retiró de la institución por jubilación Jesús Eliécer Larrahondo Aguilar, Ph.D., Químico Jefe adscrito al Programa de Procesos de Fábrica y quien había ingresado a Cenicaña el 1 de enero de 1981. También se retiraron por jubilación Tulio Escobar Espinosa, Práctico Agrícola del Programa de Variedades, Sergio Segura Hurtado, Auxiliar de Laboratorio de Química y José Crispin Diago Calambas, Obrero Agrícola.

VII. Programa de formación de jóvenes investigadores

Cenicaña es una de las instituciones nacionales de apoyo al fortalecimiento de la capacidad científica del país y como tal participa desde 1997 en el programa de formación de jóvenes investigadores auspiciado por Colciencias. De acuerdo con la convocatoria atendida, en 2010 se desarrolló un convenio de cooperación a través del cual se vinculó a Cenicaña una joven profesional.

Convenio No. 827-2009

Joven investigador	Proyecto	Tutor en Cenicaña	Período
Jenny Adriana Laguado Sanguino. Ingeniera Biotecnológica, Universidad Francisco de Paula Santander (Cúcuta, Norte de Santander)	Generación de una respuesta adaptativa para la tolerancia de altas concentraciones de vinazas por parte de las levaduras nativas con capacidad alcoholera	Nicolás Javier Gil Zapata Ingeniero Químico, Ph.D. Ingeniero de Procesos Químicos	Abril 2010 - marzo 2011

VIII. Personal profesional

(al 31 de diciembre de 2010)

Dirección General

Álvaro Amaya Estévez. Director General. Ingeniero 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. Ingeniero Industrial.[2]

Programa de Variedades

Jorge Ignacio Victoria Kafure. Director. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.[1]

Carlos Arturo Viveros Valens. Fitomejorador. Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Fredy Antonio Salazar Villareal. Fitomejorador I. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Luis Orlando López Zuñiga. Investigador temporal en fitomejoramiento. Ingeniero Agrónomo.[2]

Alex Enrique Bustillo Pardey. Entomólogo. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.[2]

Germán Andrés Vargas Orozco. Entomólogo. Ingeniero Agrónomo.[3]

Ulises Castro Valderrama. Entomólogo. Ingeniero Agrónomo, M.Sc.[2]

Juan Carlos Ángel Sánchez. Fitopatólogo. Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Marcela Cadavid Ordóñez. Microbióloga Agrícola. Bióloga, M.Sc.

Jershon López Gerena. Biotecnólogo. Biólogo, Ph.D.[2]

John Jaime Riascos Arcos. Investigador temporal. Biólogo, Ph.D.[2]

Hugo Arley Jaimes Quiñónez. Biólogo. Biólogo.[2]

Gershon Darío Ramírez Sánchez, Ingeniero Agrónomo. Ingeniero Agrónomo. [2,4]

Programa de Agronomía

Javier Alí Carbonell González. Director. Ingeniero Agrícola, M.Sc.

Fernando Villegas Trujillo. Ingeniero de Mecanización Agrícola. Ingeniero Agrícola, M.Sc.[3]

Luis Arnoby Rodríguez Hurtado. Asesor en mecanización agrícola. Ingeniero Mecánico, Ph.D.[1]

John Jairo Valencia Montenegro. Investigador temporal. Ingeniero Agrícola.[2]

José Ricardo Cruz Valderrama. Ingeniero de Suelos y Aguas. Ingeniero Agrícola, M.Sc.

Armando Campos Rivera. Asesor en manejo de aguas. Ingeniero Agrícola, M.Sc.[1]

Doris Micaela Cruz Bermúdez. Investigadora temporal en manejo de aguas. Ingeniera Agrícola.[2]

Fernando Muñoz Arboleda. Edafólogo. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Enrique Cortés Betancourt. Meteorólogo. Ingeniero Meteorólogo, M.Sc.

Fabio Andrés Herrera Rozo. Analista Sistemas Información Geográfica. Ingeniero Topográfico.[2]

Paulo José Murillo Sandoval. Analista Percepción Remota. Ingeniero Topográfico.[2]

Programa de Procesos de Fábrica

Adolfo León Gómez Perlaza. Director (E)*, Asesor en procesos mecánicos. Ingeniero Mecánico, M.Sc.[2]

Jesús Eliécer Larrahondo Aguilar. Químico Jefe. Químico, Ph.D.**

Giovanni Rojas Jiménez. Químico Jefe. Químico, Ph.D.[2]

Sara del Carmen Pereddo Vidal. Química. Química.[2]

Nicolás Javier Gil Zapata. Ingeniero de Procesos Químicos. Ingeniero Químico, Ph.D.

Jorge Iván Socarras Díaz. Ingeniero Químico. Ingeniero Químico.[2]

Jairo Moreno Lemos. Investigador temporal. Ingeniero Químico.[2]

Juan Gabriel Rodríguez Sarasty. Investigador temporal. Ingeniero Químico.[2]

Zunny Tatiana Daza Merchán. Microbióloga. Microbióloga Industrial.[1]

Jorge Alberto Vásquez Castillo. Microbiólogo. Bacteriólogo, M.Sc.[1]

Oscar Yesid Mora Muñoz. Investigador en microbiología. Microbiólogo Industrial.[2]

Diego Fernando Cobo Barrera. Ingeniero Mecánico. Ingeniero Mecánico.[2]

Carlos Andrés Aguirre Ortiz. Ingeniero Mecánico. Ingeniero Mecánico.[2]

Alexander Montoya Guerrero. Ingeniero Electrónico. Ingeniero Electrónico.[2]

Pedro Castro Fori. Ingeniero Mecánico. Ingeniero Mecánico.[2]

Juan Carlos Rosero Cerón. Investigador temporal. Ingeniero Mecánico.[2]

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. Ingeniero Agrónomo.

Victoria Eugenia Carrillo Camacho. Especialista en Comunicación Técnica. Comunicadora Social-Periodista.

Hernán Felipe Silva Cerón. Administrador Web. Comunicador Social-Periodista.[2]

Sandra Viviana Castillo Beltrán. Grupos Transferencia de Tecnología. Ingeniera Agrónoma.[2]

Marcela Estrada Iza. Grupos Transferencia de Tecnología. Ingeniera Agrónoma. M.Sc.[2]

Diego Zamorano Álvarez. Validación de Tecnología. Ingeniero Agrónomo.[2]

Alejandro Estrada Bedón. Ingeniero de Logística, CATE. Ingeniero Agroindustrial.[2]

Jorge Eduardo Bravo Jiménez, CATE. Ingeniero Mecánico.[2]

Sebastian Londoño Arango. Agricultura Específica por Sitio. Ingeniero Agrónomo.[2]

Luis Eduardo González Buriticá. Agricultura Específica por Sitio. Ingeniero Agrónomo.[2]

Luz Ángela Mosquera Daza. Estadística. Estadística.[2]

Servicio de Tecnología Informática

Einar Anderson Acuña. Jefe. Ingeniero Industrial.

Jaime Hernán Caicedo Ángel. Desarrollo de Software. Ingeniero de Sistemas.[2]

Servicio de Información y Documentación

Adriana Arenas Calderón. Jefe. Bibliotecóloga.[2]

Luz Adriana Piragauta. Biblioteca Digital. Bibliotecóloga.[2]

Superintendencia de la Estación Experimental

Javier Alí Carbonell González. Superintendente. Ingeniero Agrícola, M.Sc.

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

* Hasta septiembre de 2010 estuvo en el cargo Edgar Fernando Castillo Monroy, Ingeniero Químico, Ph.D.

** Se retiró por jubilación el 31 de diciembre de 2010

Referencias bibliográficas

Adams J.C. 2009. Improved and more environmentally friendly charcoal production system using a low-cost retort–kiln (Eco-charcoal). Renewable Energy 34 (2009) 1923–1925. Disponible en: <www.odamindia.org/wp-content/uploads/2010/04/improved_charcoal_production_2009.pdf>, consultado 18-8-2010.

Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña). 2010. Informe anual 2009-2010. Cali. Asocaña. 98 p.

Bedoya S., M.; Benavides, H.O.; Cabrera L., M.; et al. 2010. Capítulo cuarto. Vulnerabilidad. p. 193-320. En: Ideam (ed.). Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ideam, Bogotá, Colombia. 447 p. Disponible en <www.cambioclimatico.gov.co/segunda-comunicacion.html>, consultado 18-2-2011.

Bonilla Betancourt, M.L. 2007. Embriogénesis somática y expresión transitoria del gen Gus como fase Previa en el desarrollo de una metodología de transformación genética en caña de azúcar (Saccharum spp.) mediante Agrobacterium tumefaciens. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira), Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia. 178 p.

Casu, R.; Jarmey, J.; Bonnett, G. y Manners, J. 2007. Identification of transcipts associated with cell wall metabolism and development in the stem of sugarcane by affymetrix genchip sugarcane genome array expression profiling. Funct Integr Genomics, 7: 153-167.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). 2010. Informe Anual 2009. Cali. Cenicaña. 118 p.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). 2000. Informe Anual 1999. Cali. Cenicaña. 132 p.

Gitelson, A.A.; Gritz, U. and Merzlyak, M. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. J. Plant Physiol. 160:271-282.

Ingenio Risaralda. Pereira. 2006. Guía para el control de calidad de las labores del cultivo de la caña de azúcar. Cali: Ingenio Risaralda; Cenicaña; Fundeagro. 52 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp. Disponible en <www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/mainssyr-1.html>, consultado 5-2-2011.

Isaacs Echeverri, C.H.; Victoria Kafure, J.I.; Arce, C.A.; López Zúñiga, L.O. 2008 Agricultura específica por sitio. Tercera fase. Informe Técnico Final. Contrato Colciencias-Cenicaña. Código: 2214-07-17409. Cali: Cenicaña. 146 p.

Joyce, P.; Kuwahata, M.; Turner, N. y Lakshmanan, P. 2010. Selection system and co-cultivation medium are important determinants of Agrobacterium-mediated transformation of sugarcane. Plant Cell Rep, 29, (Jan.): 173–183.

Papini-Terzi, S.; Rocha, F.; Vencio, R.; Felix, J.; Branco, D.; Waclawovsky, A.; Del Bem, L.; Lembke, C.; Costa, M.; Nishiyama, M.; Vicentini, R.; Vincentz, M.; Ulian, E.; Menossi, M. y Souza, G. 2009. Sugarcane genes associated with sucrose content. BMC Genomics. 10 (Mar): 120

Wang, S.C.; Basten, J. y Zeng, Z.B. 2007. Windows QTL Cartographer 2.5.Department of Statistics, North Carolina State University, Raleigh, NC.

Siglas y abreviaturas

De instituciones y grupos

Agora	Acceso a la investigación mundial en línea sobre agricultura
Asocaña	Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar Colombia
Azucari	Asociación Comité de Cañicultores del Ingenio Risaralda
BSI	Better Sugarcane Initiative
Cengicaña	Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar
Cenicafé	Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cenicaña	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Ciat	Centro Internacional de Agricultura Tropical
Cideim	Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas
CNIAA	Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera
Conif	Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal
Corpoica	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
CREG	Comisión de regulación de energía y gas
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
DBCOL	Biblioteca Digital Colombiana
DICSA	Desarrollos Industriales y Comerciales S.A.
Ciamsa	Sociedad de Comercialización Internacional de Azúcares y Mieles
EEAOC	Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres"
FAO	Food and Agriculture Organization
Fedepanela	Federación Nacional de Productores de Panela
GTT	Grupo de Transferencia de Tecnología
GXAAS	Guangxi Academy of Agricultural Sciences
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
Ideam	Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
Inciva	Instituto para la Investigación y la Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MIT	Instituto Tecnológico de Massachusetts
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OEA	Organización de Estados Americanos
Procaña	Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar
Sena	Servicio Nacional de Aprendizaje
Tecnicaña	Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar
UIS	Universidad Industrial de Santander
UPOV	Unión internacional para la protección de las obtenciones vegetales

De variedades de caña de azúcar

CC	Cenicaña Colombia
Co	Coimbatore
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
MZC	Mayagüez (Colombia)
PR	Puerto Rico
RB	República de Brasil
RD	República Dominicana
SP	Sao Paulo (Brasil)
V	Venezuela

Varios

AEPS	Agricultura específica por sitio
BH	Balance hídrico
CATE	Corte de caña, alce, transporte y entrega de la materia prima a la fábrica
MRT	Matriz de recomendaciones tecnológicas
REE	Rendimiento eléctrico equivalente
RMA	Red Meteorológica Automatizada
RSE	Responsabilidad social empresarial
SCMV	Virus de mosaico común de la caña de azúcar
Sctt	Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología
SCYLV	Virus de la hoja amarilla
Seica	Servicio de Información y Documentación de la Caña de Azúcar
Seti	Servicio de Tecnología Informática
Sivar	Sistema de información de variedades
TAH	Toneladas de azúcar por hectárea
TAHM	Toneladas de azúcar por hectárea y mes
TCH	Toneladas de caña por hectárea
TCHM	Toneladas de caña por hectárea y mes
TSH	Toneladas de sacarosa por hectárea

Publicación Cenicaña

Comité editorial

Adolfo León Gómez Perlaza
Adriana Arenas Calderón
Álvaro Amaya Estévez
Camilo H. Isaacs Echeverri
Einar Anderson Acuña
Javier Alí Carbonell González
Jorge Ignacio Victoria Kafure
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 y Carátula

Alcira Arias Villegas

Fotografías

Adriana Arenas (iii inferior)
Alex Bustillo (78, 122 izquierda media e inferior)
Alexander Montoya (2-3, 9, 23, 57 inferior, 83, 100-101,
103, 105, 109, 112-113, 118, 132-133, 137, 138-139)
Ana Carolina Farfán (4)
Carlos Martínez (122-123)
Diego Zamorano (42, 44, 80-81, 126)
Enrique Cortés (24, 66, 96)
Fernando Martínez (v, 10, 57)
Fernando Muñoz (14-15)
Felipe Silva (7, 57 superior, 58-59, 71, 72)
Jorge Bravo (48-49, 55)
Jorge Victoria (79)
Juan Carlos Ángel (69)
Luis Orlando López (65, 116)
Marcela Estrada (89, 92)
Sandra Castillo (38-39, 128, 129)
Santiago Alfredo Grimaldo (12, 25)
Tatiana Daza (111)
Ulises Castro (76, 77)
Victoria Carrillo (1, 16, 17, 28-29,
121, 122 izquierda superior, 129, 143, 144, 145)

Preprensa e impresión

Se terminó de imprimir el 15 de marzo de 2011
en los talleres de Feriva S.A. Cali, Colombia.

In Memóriam

Para Cenicaña, haber contado con el doctor Armando Samper Grecco en los primeros años de funcionamiento fue un privilegio por la sabiduría de sus aportes en la organización de los programas y las labores, la enseñanza ejemplarizante del respeto a las ideas y la diversidad, la iniciativa de buscar soluciones en la experiencia de otros y en la propia creatividad, la sencillez del liderazgo siempre con alegría y afecto.