

# Carta Trimestral

AÑO 32 Nos. 3 y 4 CALI, COLOMBIA 2010

julio - diciembre

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

## TEMAS

### Notas informativas

Laboratorio de Biotecnología	2
La línea divisoria del tiempo	2

### Meteorología y climatología

Búsqueda de señales de cambio climático	3
Nuevo calendario pluviométrico: Temporadas secas y lluviosas	4
Incidencia de "El Niño" y "La Niña" en el clima del valle del río Cauca	6
Comportamiento del clima durante 2010	8

### Agronomía

Plan de Investigación Agronómica 2006-2010	17
Recomendaciones generales de manejo agronómico en suelos con exceso de humedad	20

### Sanidad vegetal

Presencia de roya naranja en el valle del río Cauca	24
Diferenciación en campo y laboratorio de roya café y roya naranja	30
Incidencia de roya café en las variedades, 2007-2010	37

### Biomasa

Descripción de productos basados en la biomasa como valor agregado en la cadena agroindustrial	39
--	----



Fotografía: Enrique Cortés B.



Fotografía: Diego Zamorano A.

## Tiempo del clima

Durante 2009 y 2010, las anomalías del clima en el valle del río Cauca mostraron particularidades históricas definidas por valores extremos de las principales variables atmosféricas y diferencias temporales muy marcadas respecto a lo acostumbrado.

La probabilidad de que el sector productivo tenga que enfrentar eventos quizá más extremos y más frecuentes es alta, y exige retos científicos y tecnológicos para facilitar la capacidad de adaptación de los agricultores ante el cambio.

- Señales de cambio climático. Pág. 3
- Nuevo calendario pluviométrico. Pág. 4
- Incidencia de "El Niño" y "La Niña". Pág. 6
- Comportamiento del clima 2010. Pág. 8
- Manejo agronómico del cultivo en condiciones de alta humedad. Pág. 20



Roya café



Roya naranja

## Royas de la caña de azúcar

Síntesis ilustrada acerca de la roya café y la roya naranja en el valle del río Cauca. Presencia, diagnóstico e incidencia. Pág. 24

## Productos basados en la biomasa



Descripción de bioproductos y su estado de desarrollo tecnológico y comercial, los valores de mercado y la producción. Pág. 39



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

**atalac-Tecnicaña**

**congreso 2012**

Septiembre 10 al 15 de 2012 Cali - Colombia

Centro de Eventos Valle del Pacífico

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

**La caña De azúcar**

**fUENTE DE ENERGÍA**

Convocatoria para presentación de trabajos

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

Abierta a partir del lunes 28 de marzo de 2011 y hasta el jueves 15 de marzo de 2012

## Laboratorio de Biotecnología

El 26 de noviembre de 2010 la Junta Directiva de Cenicaña inauguró el nuevo Laboratorio de Biotecnología en la Estación Experimental.

Este laboratorio, de 350 m<sup>2</sup>, fue construido con fondos de Cenicaña y el apoyo de Colciencias. Está dotado con modernas instalaciones y equipado para trabajar con las principales técnicas usadas en la disciplina.

Con el nuevo laboratorio se busca fortalecer la investigación en biotecnología, que en Cenicaña cuenta con líneas de investigación en marcadores moleculares, transformación genética, expresión génica, bioinformática y diagnóstico molecular de patógenos de la caña de azúcar.

Persona de contacto: Jershon López-Gerena, Ph.D.  
<jlopez@cenicana.org>



La Junta Directiva de Cenicaña y el equipo de investigadores del Laboratorio de Biotecnología el día de la inauguración.



Fotografías: Fernando Martínez

## La línea divisoria del tiempo se dibuja en la mente del maestro

En 1977 se fundó Cenicaña y entre 1978 y 1990 el doctor Armando Samper Gnecco fue su Director General.

En nuestra memoria corporativa viven los principios directivos del doctor Samper, su enseñanza ejemplarizante del respeto a las ideas y la diversidad, su legado creativo para encontrar soluciones en la experiencia de todos y cada uno, su sencillez y liderazgo siempre con alegría y respeto.



Armando Samper Gnecco  
(1920-2010)

Director Emérito  
de Cenicaña



Oscar Gerardo Ramos Gómez  
(1928-2010)

Secretario General de Asocaña  
entre 1984 y 2007.

Filósofo, historiador, consejero, escritor,  
educador y poeta inspirado en su gran pasión:  
la riqueza cultural del valle geográfico del río Cauca.

Carta Trimestral  
ISSN 0121-0327

Año 32, Nos. 3 y 4 de 2010

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

### Comité Editorial

Adriana Arenas Calderón • Álvaro Amaya Estévez  
Camilo Isaacs Echeverri • Edgar Fernando Castillo Monroy  
Javier Alí Carbonell González • Jorge Ignacio Victoria Kafure  
Nohra Pérez Castillo • Victoria Carrillo Camacho

### Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial: Victoria Carrillo C.  
Edición de textos: Marlene Rosero P.  
Diagramación, preprints e impresión: Feriva S.A., Cali-Colombia

Sistema de Información AEPS® en web  
Agricultura Específica por Sitio

[www.cenicana.org/aeps/index.php](http://www.cenicana.org/aeps/index.php)

Talleres de capacitación permanentes en  
el uso de las herramientas web

Contactémos

<admin\_web@cenicana.org>

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

Enrique Cortés Betancourt; Camilo Barrios Pérez\*

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 de 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 trimestre. 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 trimestre, 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. En los dos últimos años (2009 y 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. 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.

### Referencias bibliográficas

- 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](http://www.cambioclimatico.gov.co/segunda-comunicacion.html)>, consultado 18-2-2011.
- 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](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/mainssyr-1.html)>, consultado 5-2-2011.

\* Ingeniero Meteorólogo, M.Sc., Meteorólogo de Cenicaña <[ecortes@cenicana.org](mailto:ecortes@cenicana.org)>; Estudiante de Ingeniería Agrícola de la Universidad del Valle, en período de práctica profesional en Cenicaña <[cbarrios@cenicana.org](mailto:cbarrios@cenicana.org)>

# Nuevo calendario de temporadas secas y lluviosas en el valle del río Cauca

Enrique Cortés Betancourt; Camilo Barrios Pérez\*

## Ajustes al calendario pluviométrico anual

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). Marzo, junio, septiembre y diciembre se consideran como meses de transición.

Con el objetivo 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 analizaron los registros diarios de precipitación de 14 estaciones que hacen parte de la Red Meteorológica Automatizada (RMA) y cuentan con más de 17 años de información. Se puede afirmar que estas estaciones cubren racionalmente el área cultivada con caña de azúcar.

Los resultados del análisis muestran 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 acostumbradas.

Para ajustar el calendario pluviométrico anual se analizaron de modo detallado las fechas de inicio y finalización de cada período de sesenta días consecutivos durante el cual se registró, en promedio, la menor y la mayor cantidad de precipitación acumulada.

Temporadas:

Dos secas



Dos lluviosas



Cuatro períodos de transición



## Nuevo calendario

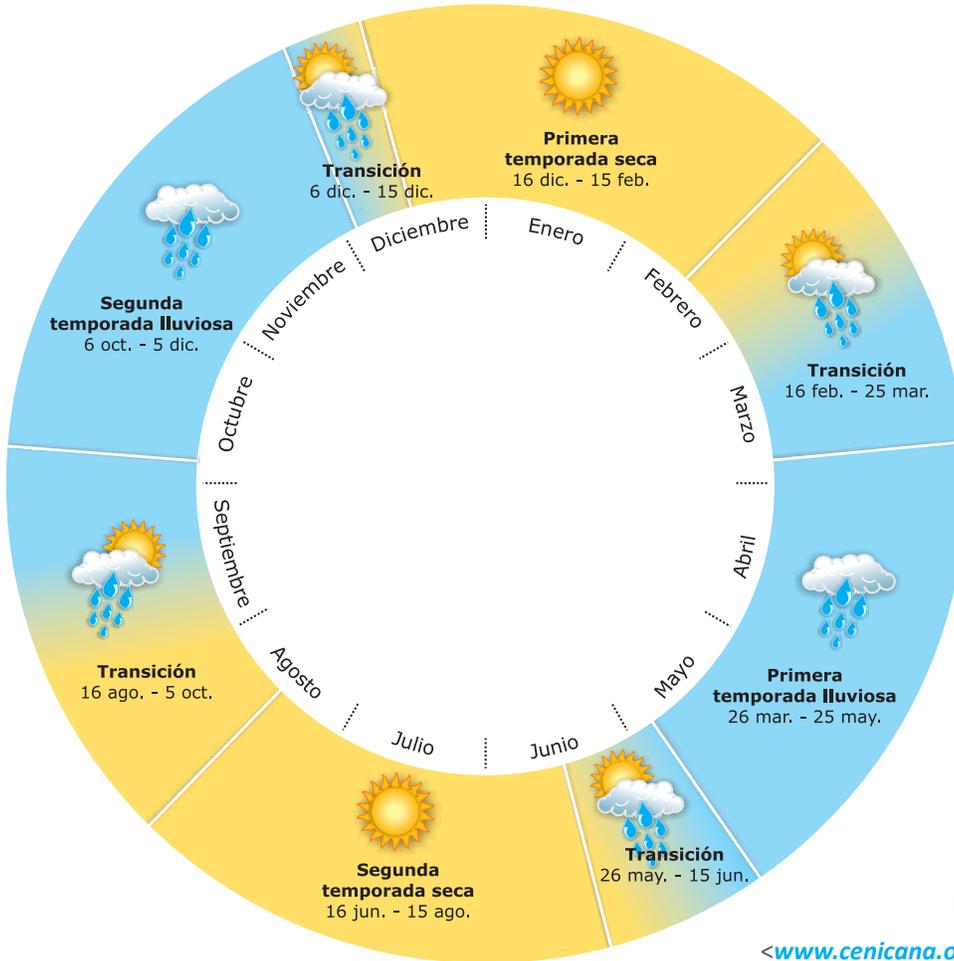
- **Primera temporada seca o de comienzos de año:** Inicia el 16 de diciembre y se prolonga por 62 días, hasta el 15 de febrero. Se adelanta 15 días respecto al comienzo de los dos meses centrales de la temporada tradicional (enero-febrero). El período de transición hacia la primera temporada lluviosa 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 de 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.

La precipitación atmosférica es la pauta. El régimen bimodal de las lluvias marca dos temporadas secas y dos lluviosas, más cuatro períodos de transición.

\* Ingeniero Meteorólogo, M.Sc., Meteorólogo de Cenicaña <ecortes@cenicana.org>; Estudiante de Ingeniería Agrícola de la Universidad del Valle, en período de práctica profesional en Cenicaña <cbarrios@cenicana.org>

# Calendario pluviométrico anual

en el valle del río Cauca



Para ajustar el calendario se analizaron de modo detallado las fechas de inicio y finalización de cada período de sesenta días consecutivos durante el cual se registró, en promedio, la menor y la mayor cantidad de precipitación acumulada.

Se tuvieron en cuenta los valores diarios de precipitación atmosférica registrados durante 17 años en 14 estaciones de la RMA, Red Meteorológica Automatizada.

**La RMA es administrada por Cenicaña y está compuesta por 34 estaciones.**

Boletines diarios disponibles en internet

[www.cenicana.org/clima/\\_boletin\\_meteoro\\_diario.php](http://www.cenicana.org/clima/_boletin_meteoro_diario.php)

## Calendario de temporadas secas y lluviosas por mes, década, péntada y día

Temporada	Primera temporada seca 16 diciembre - 15 febrero (62 días)						Transición 16 febrero - 25 marzo (40 días)				Primera temporada lluviosa 26 marzo - 25 mayo (61 días)						Transición 26 may. - 15 jun. (20 días)			
	Dic.	Enero			Febrero			Marzo				Abril			Mayo			Junio		
Década*	36	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Péntada**	71	72	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Día	16	15						16	25				26	25			26	15		

Temporada	Segunda temporada seca 16 junio - 15 agosto (61 días)						Transición 16 agosto - 5 octubre (50 días)					Segunda temporada lluviosa 6 octubre - 5 diciembre (61 días)						Trans. 6-15 dic.																		
	Junio	Julio			Agosto			Septiembre					Octubre			Noviembre			Diciembre																	
Década*	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35																		
Péntada**	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Día	16	15						16	5					6	5			6	15																	

\* Década: unidad de diez días.

\*\* Péntada: unidad de cinco días.

# Incidencia de “El Niño” y “La Niña” en el clima del valle del río Cauca

Enrique Cortés Betancourt\*

## Generalidades

Los fenómenos “El Niño” y “La Niña” son eventos oceánico-atmosféricos de gran escala y complejidad que tienen lugar en la cuenca del océano Pacífico tropical (OPT).

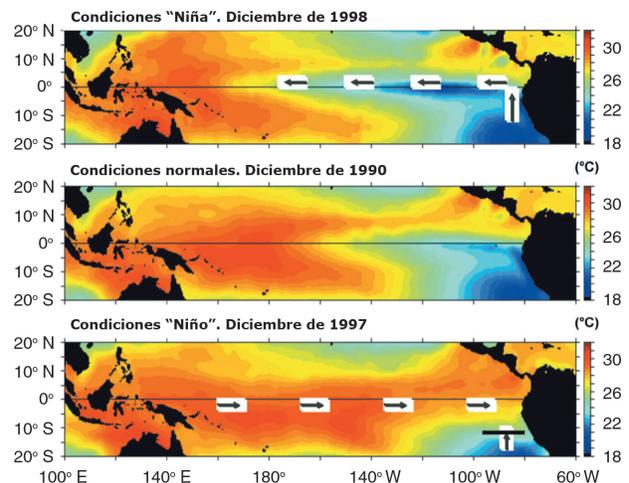
La incidencia de estos dos fenómenos se extiende prácticamente a todas las regiones del planeta y sus efectos pueden llegar a ser de enorme magnitud; son antagónicos entre sí y siempre de igual presentación en un mismo lugar.

En condiciones normales las aguas superficiales más cálidas del OPT se encuentran en la zona occidental. La temperatura superficial del mar (TSM) desciende en sentido oeste-este, de modo que la zona más fría del OPT se encuentra sobre las costas suramericanas que son bañadas por la corriente de Humboldt. Esta corriente transporta aguas muy frías desde la Antártida y normalmente asciende hacia el norte por el OPT hasta las costas de Perú y el sur de Ecuador y se adentra un poco en el océano (Figura 1, centro).

En condiciones del fenómeno de “El Niño” las aguas cálidas superficiales del OPT se expanden hacia el este y alcanzan en los casos de mayor intensidad las costas de Sur y Centroamérica, con lo cual se generaliza el calentamiento de una gran parte de ellas. En este caso, la corriente de Humboldt se debilita y en su curso hacia el norte se bloquea a la altura de las costas del norte de Chile y no se adentra en el océano (Figura 1, abajo).

Por el contrario, cuando se presenta el fenómeno de “La Niña”, la corriente de Humboldt se fortalece y asciende hasta las costas de Ecuador e incluso de Colombia y se adentra considerablemente en el océano. En este caso, las aguas frías superficiales del OPT se expanden hacia el oeste y ocupan la zona central y parte de la occidental en los eventos de mayor intensidad, lo que genera un enfriamiento en gran parte del OPT (Figura 1, arriba).

## Temperatura superficial del mar en el océano Pacífico tropical



TAO Project Office/PMEL/NOAA

Figura 1. Temperatura superficial del mar en el océano Pacífico tropical. Ejemplos de condiciones normales, “Niña” y “Niño”.

Fuente: United States Department of Commerce, The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) <[www.noaa.gov/](http://www.noaa.gov/)>

## Incidencia

Los fenómenos “El Niño” y “La Niña” afectan sensiblemente los patrones climáticos de las zonas caribe y andina de Colombia y, particularmente, los patrones climáticos del valle del río Cauca.

Con el objetivo de conocer la incidencia de estos dos fenómenos en el comportamiento de las principales variables climáticas en el valle del río Cauca, Cenicaña realizó una investigación detallada al respecto (Peña *et al.*, 2001). Los resultados de este trabajo confirman plenamente la incidencia de los fenómenos climáticos externos en el valle

\* Ingeniero Meteorólogo, M.Sc., Meteorólogo de Cenicaña <[ecortes@cenicana.org](mailto:ecortes@cenicana.org)>

del río Cauca, la cual fue caracterizada y cuantificada en tres sitios. Para el efecto se calcularon los coeficientes de correlación entre los valores de diferentes variables atmosféricas en la región y los diversos parámetros utilizados para caracterizar los fenómenos climáticos externos.

En términos generales, en el valle del río Cauca "El Niño" trae como consecuencia una disminución en la precipitación, en el número de días con precipitación y en la humedad relativa del aire, y un aumento de la evaporación, la radiación solar, las temperaturas media y máxima media del aire y la oscilación diaria de la temperatura. "La Niña", por su parte, trae consigo aumentos en la precipitación, el número de días con precipitación y la humedad relativa del aire, y disminuciones en los valores de evaporación, radiación solar, temperaturas media y máxima media del aire y en la oscilación diaria de la temperatura.

Las conclusiones de la investigación señalan que no todas las variables atmosféricas correlacionan de igual forma con los parámetros característicos de los fenómenos externos; algunas lo hacen en mayor grado que otras. Las variables que mejor correlacionan son la temperatura máxima media del aire (Figura 2), la evaporación y la oscilación diaria de la temperatura. En general, el efecto de estos dos fenómenos es mayor en las temporadas secas del año que en las lluviosas; "El Niño" afecta más la primera temporada seca o de fines-comienzos del año, mientras que "La Niña" afecta más la segunda temporada seca o de mitad del año; en general, "La Niña" afecta el clima del valle del río Cauca de manera más fuerte que "El Niño".

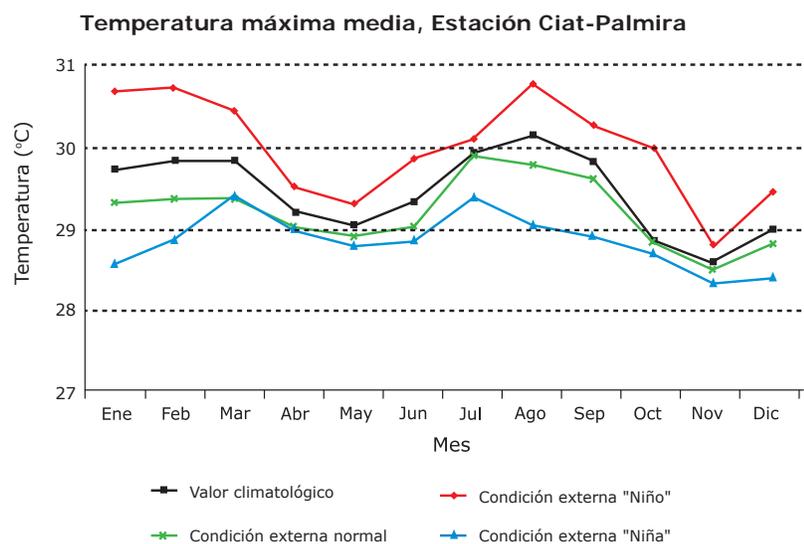


Figura 2. Variación intraanual multianual de temperatura máxima media del aire en presencia de fenómenos externos "Niño" y "Niña" y condiciones normales (no "Niño"-no "Niña") y su comparación con los valores climatológicos o acostumbrados. Estación Meteorológica Ciat (Palmira, Valle del Cauca).

## Referencia bibliográfica

Peña Q., A.J.; Cortés B., E.; Montealegre L., F. 2001. Incidencia de los fenómenos "El Niño" y "La Niña" sobre las condiciones climáticas en el valle del río Cauca. Parte I: Análisis climatológico. p.103-108. Parte II: Análisis de correlaciones. p.119-128. En: Meteorología Colombiana, No.3. Marzo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias. Bogotá.



En el valle del río Cauca, en términos generales, "El Niño" trae como consecuencia disminuciones en la cantidad de precipitación, el número de días con lluvia y la humedad relativa del aire.

Así mismo, causa aumentos en los valores de evaporación, radiación solar, temperatura del aire (media y máxima media) y oscilación media diaria de la temperatura.

En condiciones "Niña" el efecto se invierte: aumentan los días con lluvia, la cantidad de precipitación y la humedad relativa del aire; disminuyen los valores de evaporación, radiación solar, temperatura y oscilación de la temperatura.

[www.cenicana.org/clima\\_/index.php](http://www.cenicana.org/clima_/index.php)

# Comportamiento del clima en el valle del río Cauca durante 2010

Enrique Cortés Betancourt\*



Estación Experimental de Cenicaña, 31 de mayo de 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. A continuación se presenta el comportamiento del clima en el valle del río Cauca en 2010.

\* Ingeniero Meteorólogo, M.Sc., Meteorólogo de Cenicaña <ecortes@cenicana.org>

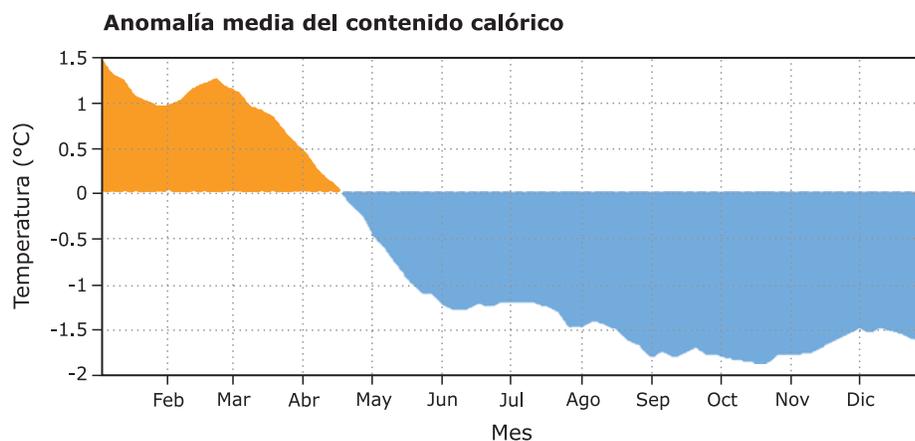


Figura 1. Anomalía media del contenido calórico (°C) de la capa superficial del océano Pacífico tropical (300 metros) durante 2010.

Fuente: NOAA.

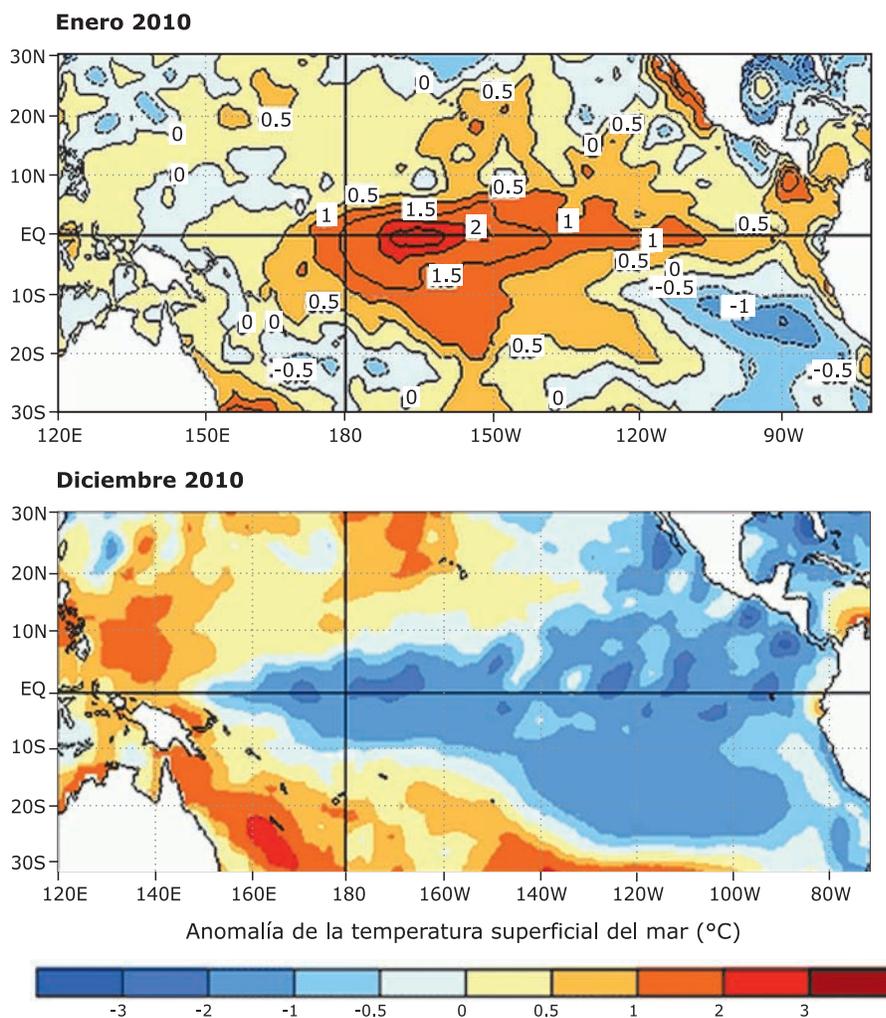


Figura 2. Anomalía media de la temperatura superficial del mar (°C) en el océano Pacífico tropical en enero y en diciembre de 2010.

Fuente: NOAA.



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).



13 de noviembre

## 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).

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.

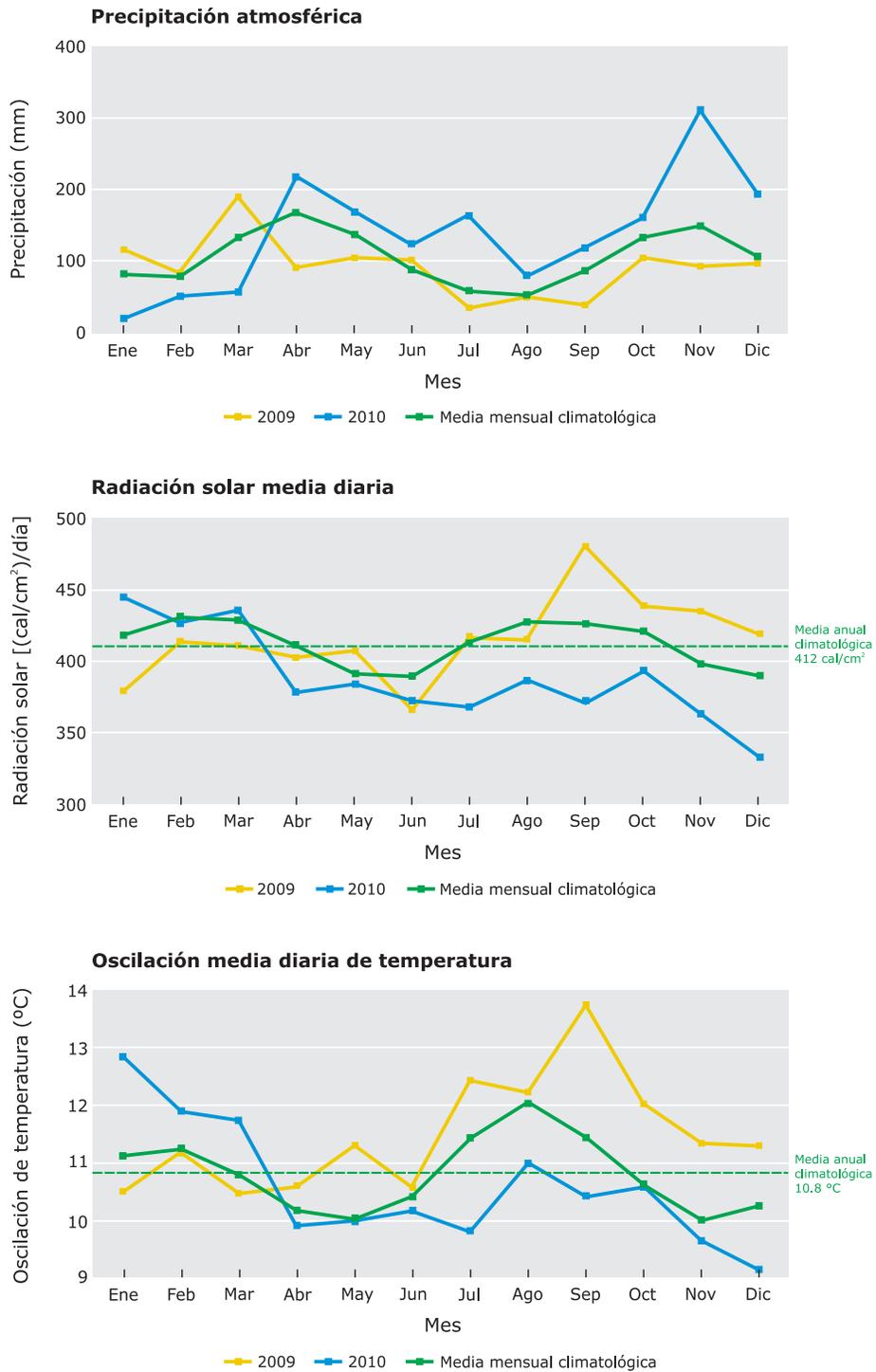


Figura 3. Precipitación atmosférica, radiación solar media diaria y oscilación media diaria de temperatura. Promedios mensuales en el valle del río Cauca. Años 2009, 2010 y climatológico 1994-2010.

Fuente: RMA, Cenicafía.



## 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<sup>2</sup> por día)

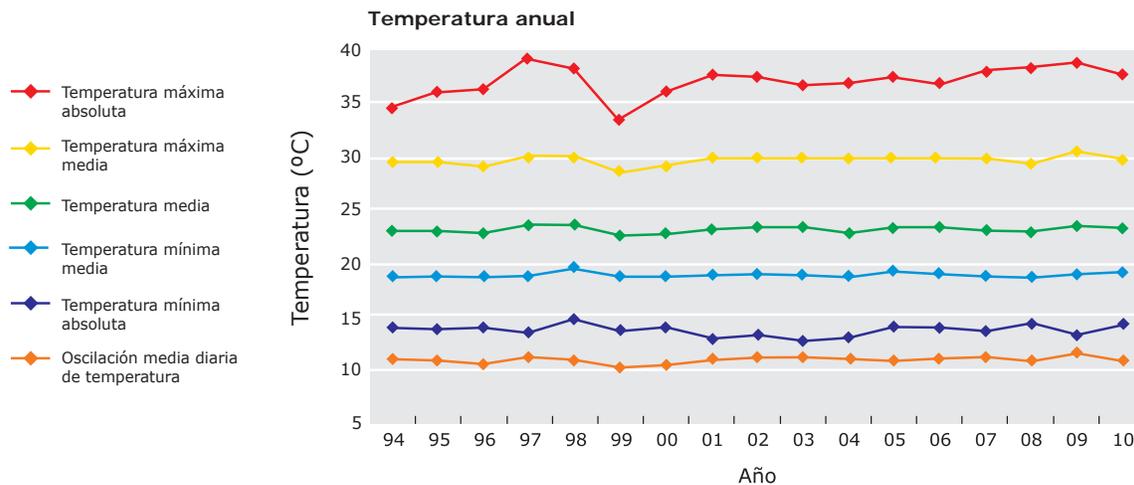


Figura 4. Temperatura del aire. Promedios y extremos anuales en el valle del río Cauca. Período 1994-2010.

Fuente: RMA, Cenicaña.

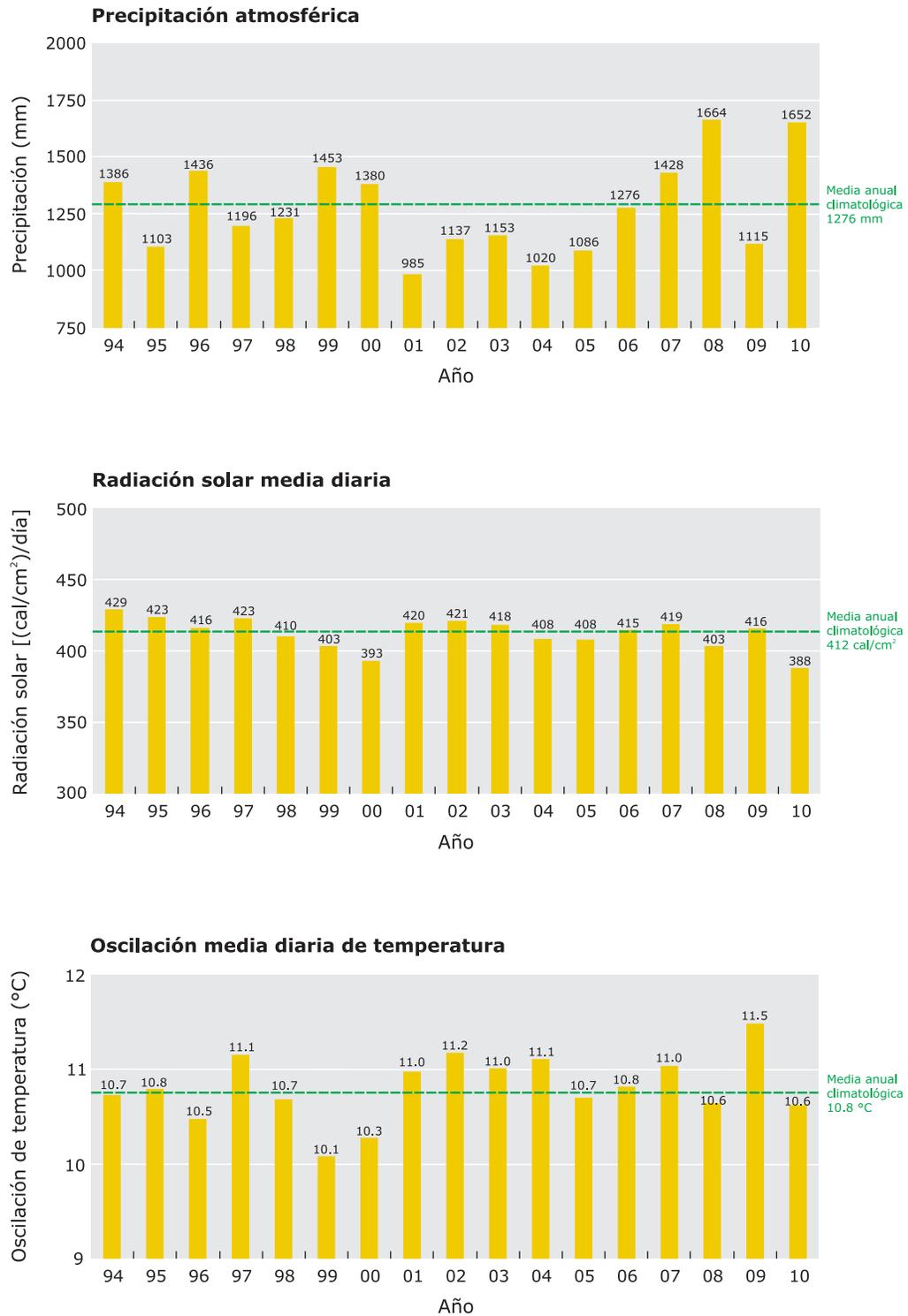


Figura 5. Precipitación atmosférica, radiación solar media diaria y oscilación media diaria de temperatura. Promedios anuales en el valle del río Cauca. Período 1994-2010. Fuente: RMA, Cenicafía.

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
<b>Años de mayor temperatura mínima absoluta</b>			
1998	14.5	14.8	14.5
2008	14.4	14.2	14.2
<b>2010</b>	<b>15.0</b>	<b>14.1</b>	<b>14.1</b>
<b>Años intermedios</b>			
2005	15.5	14.0	14.0
1994	15.2	13.8	13.8
2000	15.6	13.8	13.8
1996	15.3	13.7	13.7
1995	13.6	14.9	13.6
2006	15.0	13.6	13.6
1999	14.7	13.5	13.5
2007	13.4	13.6	13.4
1997	15.4	13.2	13.2
2002	14.1	13.1	13.1
2009	15.1	13.1	13.1
<b>Años de menor temperatura mínima absoluta</b>			
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
<b>Años de mayor temperatura mínima media</b>			
1998	19.9	18.9	19.4
2005	19.5	18.8	19.1
<b>2010</b>	<b>19.4</b>	<b>18.6</b>	<b>19.0</b>
<b>Años intermedios</b>			
2006	19.2	18.8	19.0
2009	18.9	18.9	18.9
1997	19.0	18.8	18.9
2002	18.9	18.8	18.9
2003	19.1	18.7	18.9
2007	19.1	18.5	18.8
2001	18.8	18.7	18.8
1994	18.8	18.6	18.7
2004	18.9	18.6	18.7
1995	18.8	18.5	18.7
2008	18.7	18.6	18.7
<b>Años de menor temperatura mínima media</b>			
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
<b>Años de mayor temperatura media (años más cálidos)</b>			
1998	24.3	23.0	23.6
1997	23.1	23.8	23.5
2009	23.1	23.9	23.5
<b>Años intermedios</b>			
2002	23.3	23.5	23.4
2005	23.5	23.1	23.3
2003	23.4	23.0	23.2
2006	23.1	23.3	23.2
2004	23.4	23.0	23.2
2001	23.1	23.3	23.2
<b>2010</b>	<b>23.9</b>	<b>22.4</b>	<b>23.1</b>
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
<b>Años de menor temperatura media (años más fríos)</b>			
1996	22.6	22.7	22.6
2000	22.5	22.8	22.6
1999	22.6	22.5	22.5
Clima	23.2	23.0	23.1

Temperatura máxima absoluta (°C)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor temperatura máxima absoluta</b>			
1997	34.8	39.2	39.2
2009	37.8	38.9	38.9
2008	35.2	38.5	38.5
<b>Años intermedios</b>			
1998	37.6	38.3	38.3
2007	36.8	37.9	37.9
<b>2010</b>	<b>37.0</b>	<b>37.8</b>	<b>37.8</b>
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
<b>Años de menor temperatura máxima absoluta</b>			
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
<b>Años de mayor temperatura máxima media</b>			
2009	29.7	31.1	30.4
1998	30.8	29.3	30.1
1997	30.8	30.8	30.0
<b>Años intermedios</b>			
2002	29.8	30.2	30.0
2003	30.1	29.6	29.8
2007	30.2	29.4	29.8
2005	29.8	29.8	29.8
2004	30.0	29.7	29.8
2006	29.5	30.0	29.8
2001	29.6	29.8	29.7
<b>2010</b>	<b>30.5</b>	<b>28.7</b>	<b>29.6</b>
1994	29.2	29.7	29.4
1995	29.9	29.0	29.4
2008	29.3	29.2	29.3
<b>Años de menor temperatura máxima media</b>			
1996	28.8	29.2	29.0
2000	28.6	29.2	28.9
1999	28.7	28.7	28.7
Clima	29.7	29.6	29.6

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

Cuadro 1. Continuación.

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

Precipitación (mm)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor precipitación (años más lluviosos)</b>			
2008	960	704	1664
<b>2010</b>	<b>635</b>	<b>1009</b>	<b>1644</b>
1999	820	633	1453
<b>Años intermedios</b>			
1996	906	530	1436
2007	697	731	1428
2000	841	538	1380
1994	808	561	1369
2006	744	531	1276
1998	655	576	1231
1997	774	421	1196
2003	550	604	1153
2002	602	535	1137
2009	693	422	1115
1995	521	582	1103
<b>Años de menor precipitación (años menos lluviosos)</b>			
2005	543	544	1086
2004	461	559	1020
2001	527	458	985
Clima	690	585	1275

Días con precipitación			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor número de días con precipitación</b>			
2008	112	113	225
1999	111	99	210
2000	113	90	203
<b>Años intermedios</b>			
<b>2010</b>	<b>79</b>	<b>122</b>	<b>201</b>
1996	113	85	197
2007	95	100	196
2005	86	95	181
1995	80	100	181
2006	101	79	180
1994	102	76	178
1998	82	95	178
2009	95	72	167
2003	79	82	160
2001	86	74	159
<b>Años de menor número de días con precipitación</b>			
2004	71	86	157
1997	92	58	150
2002	65	70	135
Clima	92	88	180

Evaporación (mm)			
Año	Sem. 1	Sem. 2	Anual
<b>Años de mayor evaporación</b>			
1994	821	907	1729
2009	785	940	1725
1995	862	847	1710
<b>Años intermedios</b>			
1997	788	899	1687
2002	819	853	1673
2007	835	834	1669
2003	816	833	1648
2001	797	848	1645
2004	836	802	1638
1998	830	803	1632
2006	761	848	1608
1996	774	834	1608
2008	811	778	1589
<b>2010</b>	<b>829</b>	<b>720</b>	<b>1549</b>
<b>Años de menor evaporación</b>			
2005	693	842	1535
1999	728	760	1488
2000	715	754	1469
Clima	794	830	1624

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

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/cm <sup>2</sup> )/día]	397	407	412	435	371	413	416	389	413



Fotografía: John Jaico Lasso

Estación meteorológica Cenicafía.

# Plan de Investigación Agronómica 2006-2010

## Síntesis de progreso

Cenicafía, Programa de Agronomía\*

Se presenta a continuación una síntesis acerca de la investigación adelantada por el Programa de Agronomía de Cenicafía, con énfasis en los objetivos propuestos en el marco del Plan de Investigación 2006-2010.

### Introducción

Durante el año 2005, con la participación de representantes de los ingenios azucareros y los productores de caña se llevaron a cabo una serie de 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 agricultura específica por sitio (AEPS) como estrategia para el desarrollo sostenible de las tierras dedicadas al cultivo, Cenicafía formuló el plan 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:

- 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).
- Evaluaciones que muestran respuesta de la caña de azúcar al drenaje.
- Determinaciones de la compactación del suelo causada por equipos de labranza y cosecha y sus efectos en productividad.
- Guía metodológica para la evaluación de los sistemas de cosecha de caña en el valle del río Cauca y capacitación al respecto.

### 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 toneladas de caña por hectárea 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 de los riegos*

- 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.

\* Persona de contacto: Javier Carbonell G., Director Programa de Agronomía <jacarbonell@cenicana.org>

### **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 fertigración 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 promisoría en piedemonte.
- Pruebas de adaptación del sistema de riego con caudal reducido para fertigración 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 promisoría para el ahorro de agua en épocas de baja 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.

**Los investigadores del Programa de Agronomía divulgaron los avances de los proyectos del plan de investigación en más de cien eventos, la mayoría organizados por la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT).**

**Memorias de los eventos, documentos de trabajo y publicaciones disponibles en <[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)>**

Día de campo sobre riego con caudal reducido en el Ingenio Manuelita, al cual asistieron los productores del Ingenio Carmelita que participan en la Red GTT.

### **Manejo de residuos 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 niveles críticos establecidos usados 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 daños causados por 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 semi-mecanizada 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.

# Recomendaciones generales de manejo agronómico de la caña de azúcar en suelos con exceso de humedad

Ricardo Cruz V., Luis Arnoby Rodríguez; Fernando Muñoz A.\*

## Introducción

Los excesos de humedad en el suelo se deben principalmente a precipitaciones, topografía muy plana o irregular por nivelación defectuosa, suelos muy pesados, desbordamientos o escorrentía, filtraciones desde ríos, embalses y canales. La situación se agrava debido a obstáculos para la salida del agua, como los niveles altos de los ríos o de estructuras como las alcantarillas.

Experimentos realizados por Cenicaña (1992) muestran que la producción de caña se puede reducir hasta en 35 t/ha cuando el nivel freático se mantiene a una profundidad menor de 70 cm. Si la humedad excesiva ocurre durante las etapas de adecuación, preparación y siembra estas labores sufren retrasos, los suelos se compactan, la germinación se reduce y aumentan los costos por concepto de resiembra. Así mismo, con trochas inadecuadas de los equipos de cosecha es mayor el riesgo de daño a las cepas y compactación del suelo.

El principal factor limitante para el establecimiento y el levantamiento del cultivo en condiciones de alta saturación de humedad es de tipo físico y debe tratar de minimizarse con nivelación e infraestructura de drenaje que permitan la evacuación eficaz del exceso de humedad.

Para asegurar la eficiencia de las labores mecanizadas es necesario que éstas se realicen en el momento oportuno y cuando el suelo presente el contenido de humedad adecuado.

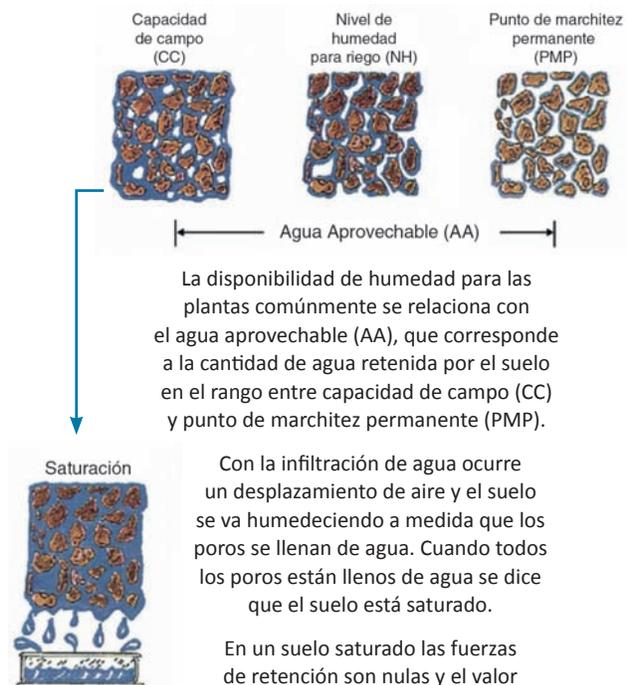
Una vez se logra que el exceso de humedad disminuya, se debe pensar en seleccionar los fertilizantes y las dosis apropiadas para cada situación en particular.

A continuación se dan algunas recomendaciones generales para el manejo del drenaje, la mecanización agrícola y la aplicación de fertilizantes en condiciones de alta humedad.

## Contenido de humedad del suelo

Fuente: Adaptado de Buckmen, H.O; Brady, N.C. 1996. The Nature and Properties of Soil. En: Torres *et al.*, 2004.

La condición ideal de humedad del suelo para el crecimiento de las plantas se encuentra en el punto definido como capacidad de campo. Cuando el suelo está saturado, el principal factor limitante es de tipo físico.



La disponibilidad de humedad para las plantas comúnmente se relaciona con el agua aprovechable (AA), que corresponde a la cantidad de agua retenida por el suelo en el rango entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Con la infiltración de agua ocurre un desplazamiento de aire y el suelo se va humedeciendo a medida que los poros se llenan de agua. Cuando todos los poros están llenos de agua se dice que el suelo está saturado.

En un suelo saturado las fuerzas de retención son nulas y el valor del potencial mátrico es igual a cero, de modo que el principal factor limitante para el desarrollo de los cultivos es de tipo físico.

\* Ingeniero Agrícola, M.Sc., Ingeniero de Suelos y Aguas <jrcruz@cenicana.org>; Ingeniero Mecánico, Ph.D., Asesor en Mecanización Agrícola <larodriguez@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Edafólogo <fmunoz@cenicana.org>. Todos de Cenicaña.



En los meses finales de 2010 "La Niña" del Pacífico trajo consigo cantidades excesivas de lluvia al valle del río Cauca, donde alrededor de 13 mil hectáreas con caña de azúcar fueron reportadas como afectadas y otras 5 mil, como perdidas.

La información fue emitida por Asocaña <[www.asocana.org](http://www.asocana.org)>

## Manejo del drenaje

Para afrontar los períodos de alta precipitación se requieren sistemas de drenaje que operen de modo efectivo tanto predial (local) como regionalmente. En los sitios donde hay nivel freático se recomienda instalar pozos de observación o baterías piezométricas con el fin de hacer el monitoreo de la profundidad del agua freática cada 15 días. Esta información es básica en los estudios de diseño de los sistemas de drenaje.

En cuanto a los sistemas de drenaje predial conviene destacar los resultados experimentales logrados con el drenaje entubado en Incauca, donde los tonelajes de caña y azúcar por hectárea y mes (TCHM y TAHM) aumentaron en 1.6 TCHM (23%) y en 0.22 TAHM (28%) luego de la instalación. También los resultados en el Ingenio La Cabaña, donde el drenaje entubado fue más efectivo que el drenaje abierto perimetral, con una diferencia en producción de 24 TCH y un período de recuperación de la inversión equivalente a dos ciclos de cultivo.

Con respecto a los proyectos de drenaje regional, el objetivo es implementar soluciones que garanticen la sostenibilidad del sector agropecuario con la participación de los propietarios de los predios y la cooperación técnica y económica de organismos regionales, nacionales e internacionales en iniciativas que involucren conjuntos de predios para la protección contra inundaciones, la construcción de sistemas de bombeo y demás obras de infraestructura de drenaje.

Cenicaña presta actualmente servicios de cooperación técnica al Ingenio Risaralda en un proyecto de drenaje con enfoque regional en el cual participan los propietarios de 27 haciendas en un área de influencia de 1300 hectáreas, donde se han instalado 42 pozos de observación del nivel freático. Durante 2010, a partir del diagnóstico y la delimitación de las áreas de mal drenaje se recomendaron soluciones que serán implementadas en varias etapas. Los propietarios de los predios autorizaron al Ingenio Risaralda para que realice los trabajos y deduzca los costos de acuerdo con el área de influencia de las obras. En la primera etapa la tarea es mejorar los colectores y construir estructuras con compuerta de chapaleta cerca al río Cauca.

## Recomendaciones

- Remover los tapones al final de los surcos para facilitar la salida del agua.
- Limpiar las acequias, los colectores y las tuberías de drenaje.
- Verificar la descarga libre de las acequias de drenaje a los colectores.
- Conservar los jarillones o diques: tapar las grietas, limpiar y controlar los hormigueros.
- Alistar motobombas para la evacuación de agua en las zonas planas aledañas a los ríos.
- Realizar la siembra en el lomo, aporcar alto y contar con tractores de despeje alto para realizar las labores en el momento que resulte oportuno.
- En suelos arcillosos se recomienda el trazado de drenes topo como complemento del sistema de drenaje.

## Preparación de suelos

El contenido de humedad del suelo es un factor importante en la ejecución de las labores agrícolas mecanizadas y determina la respuesta del suelo a dichas labores, especialmente cuando éstas son de carácter intensivo como ocurre en la preparación de tierras para la renovación de plantaciones de caña de azúcar.

El contenido de humedad del suelo, la textura y la estructura definen su capacidad para soportar los esfuerzos ejercidos por los implementos y por el tráfico de cargas. Esta capacidad se altera negativamente en épocas húmedas debido a que se afectan las propiedades mecánicas (cohesión, adhesión y fricción) que definen la interacción entre el suelo y los implementos. Aunque la textura está relacionada con las partículas del suelo y no cambia con las actividades agrícolas, la estructura se puede mejorar o destruir fácilmente según el tipo y la duración de las prácticas mecanizadas (Sullivan, 2004).

La consistencia del suelo está definida por los límites de plasticidad y disminuye a medida que aumenta el contenido de humedad del suelo. En la Figura 1 se muestra el efecto del contenido de humedad en las propiedades mecánicas del suelo y en su consistencia. Los suelos con humedades por debajo de su límite de contracción (LC) se comportan como sólidos, con alta cohesión entre las partículas, de modo que son difíciles de laborar por su alta resistencia y por tanto la mecanización demanda un consumo de energía alto y genera terrones de gran tamaño. Por el contrario, suelos con altos contenidos de humedad y por encima del límite líquido (LL) pierden su consistencia y se comportan como fluidos sin capacidad de respuesta a los esfuerzos.

Entre el límite de contracción y el límite plástico (LP) el suelo se comporta como semisólido y alcanza la condición friable, ideal para obtener la roturación óptima con menor consumo de energía. Se considera que el suelo es friable cuando el contenido de humedad está entre el 85% y el 90% de su humedad en el límite plástico (LP).

Entre LP y LL el suelo adquiere un comportamiento plástico y gana capacidad de deformación, se disminuye la respuesta al laboreo y no se produce la fragmentación deseada debido a la formación de agregados de gran tamaño. En época húmeda también se afecta la tracción desarrollada por las máquinas y se incrementa el patinaje, lo que causa aumento en la compactación de la capa superficial y en el consumo de combustible.

## Recomendaciones

- Disminuir el laboreo para evitar la degradación del suelo. El efecto perjudicial del peso de la maquinaria y de la labranza excesiva del suelo en condiciones desfavorables de humedad tiende a ser acumulativo y se intensifica con la frecuencia y secuencia de la labranza (FAO, 1997).
- Para disminuir el efecto negativo de las máquinas sobre el suelo se debe:
  - Evitar el sobrepeso de los equipos y el patinaje excesivo.
  - Controlar el tráfico de las máquinas.
  - Realizar sólo labranza superficial para establecer el cultivo y practicar luego las labores profundas una vez disminuya la humedad (Torres *et al.*, 2006). Con esta secuencia se elimina además la compactación acumulada en el subsuelo durante las labores de preparación.

**Entre el límite de contracción (LC) y el límite plástico (LP) el suelo se comporta como semisólido y alcanza la condición friable, ideal para obtener la roturación óptima con menor consumo de energía.**

**Se considera que el suelo es friable cuando el contenido de humedad está entre el 85% y el 90% de su humedad en el límite plástico.**

Los suelos con humedad por encima del límite líquido (LL) pierden su consistencia y se comportan como fluidos sin capacidad de respuesta a los esfuerzos. Entre LP y LL el suelo adquiere un comportamiento plástico y gana capacidad de deformación, se disminuye la respuesta al laboreo y no se produce la fragmentación deseada debido a la formación de agregados de gran tamaño. También se afecta la tracción desarrollada por las máquinas y se incrementa el patinaje.

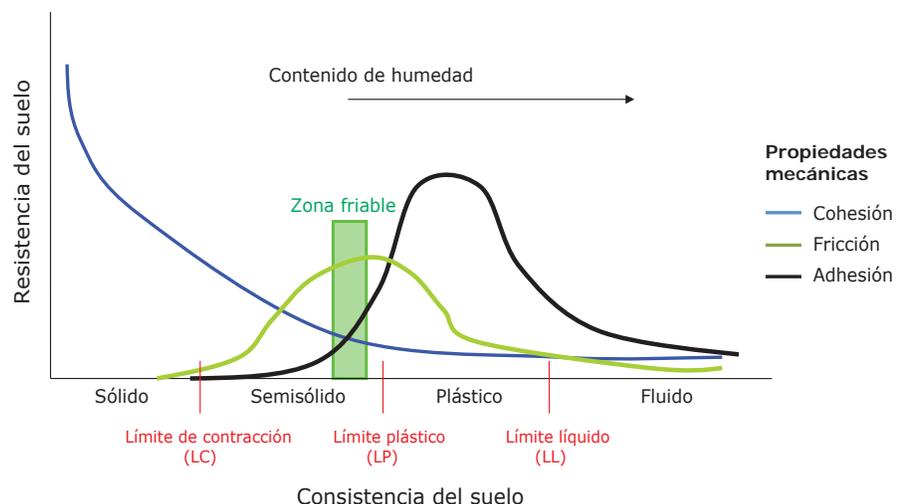


Figura 1. Efecto del contenido de humedad en las propiedades mecánicas del suelo y su consistencia.

## Fertilización nitrogenada

La eficiencia de las plantas en la absorción de los nutrimentos presentes en el suelo y los aplicados en forma de fertilizantes obedece a una combinación óptima de los factores físicos, químicos y biológicos involucrados en el proceso.

Durante los períodos de alta precipitación la eficiencia de la absorción se limita debido a la saturación de humedad del espacio poroso del suelo, lo cual produce baja aireación y por lo tanto, disminución de la tasa de respiración radical que, a su vez, resulta en disminución de la actividad fisiológica del cultivo.

Cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo (ver ilustración, pág. 20) se dice que la humedad del suelo es adecuada. En estas condiciones, la urea aplicada al suelo es hidrolizada a amonio en pocos días y el amonio posteriormente transformado a nitrito y nitrato por las bacterias nitrificantes; la transformación del amonio a nitrito y nitrato permite que el amonio no se acumule en el suelo (Havlin *et al.*, 1999).

Por el contrario, en suelos con exceso de humedad la fertilización con urea puede acumular nitrógeno (N) en el suelo en forma de amonio, en razón de que la actividad de las bacterias nitrificantes disminuye por la falta de aireación en el suelo. Niveles altos de N en el suelo en forma amoniacal pueden retardar el crecimiento, restringir la absorción de potasio (K+) y producir síntomas de deficiencia de este elemento. Los niveles altos de N en forma nítrica son tolerados mejor por las plantas, que los almacenan en sus tejidos sin causar problemas de toxicidad (Ibíd).

## Recomendaciones

- La urea no es una fuente de nitrógeno adecuada cuando existen condiciones de saturación de humedad permanentes en el suelo.
- Los fertilizantes que contienen nitrógeno en forma nítrica son una alternativa a la fertilización con urea siempre y cuando no se corra el riesgo de que la fracción nítrica vaya a ser lavada por lixiviación o escorrentía; el nitrato es muy móvil en el suelo y por lo tanto el riesgo de pérdida se incrementa en condiciones de alta humedad. El fertilizante en forma nítrica se debe aplicar cerca de la cepa.
- En zonas con drenaje lento y susceptibilidad al encharcamiento se debe considerar la siembra en el lomo del surco.
- Se recomienda el aporque alto con el fin de tener una porción de la rizosfera en condición aeróbica (Figura 2), de manera que se favorezca la absorción de nutrimentos y se minimice el riesgo de lavado.
- Los fertilizantes se deben aplicar muy cerca de la base de las plantas para incrementar la eficiencia de absorción.

## Referencias bibliográficas

Cenicafña. 1992. Efecto del nivel freático en la producción. En: Informe Anual 1991. Cenicafña. Cali. p. 32-33.

FAO. 1997. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. FAO, Roma, Italia. (Boletín de Tierras y Aguas de la FAO, No. 8)

Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. y Nelson W.L. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Sixth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 499 p.

Sullivan, P. 2004. El manejo sostenible de suelos. Universidad de Illinois. Urbana-Champaign. Il. USA.

Torres Aguas, J.S.; Criollo, G.A. y Franco, R. 2006. Secuencia de labores y reducción de costos para la preparación de un Mollisol. Cenicafña, Cali Colombia. 18 p. (Documento de Trabajo, no.587)

Torres Aguas, J.S.; Cruz Valderrama, J.R. y Villegas Trujillo, F. 2004. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. Cenicafña, Cali, Colombia. 66 p. (Serie Técnica, No.33).

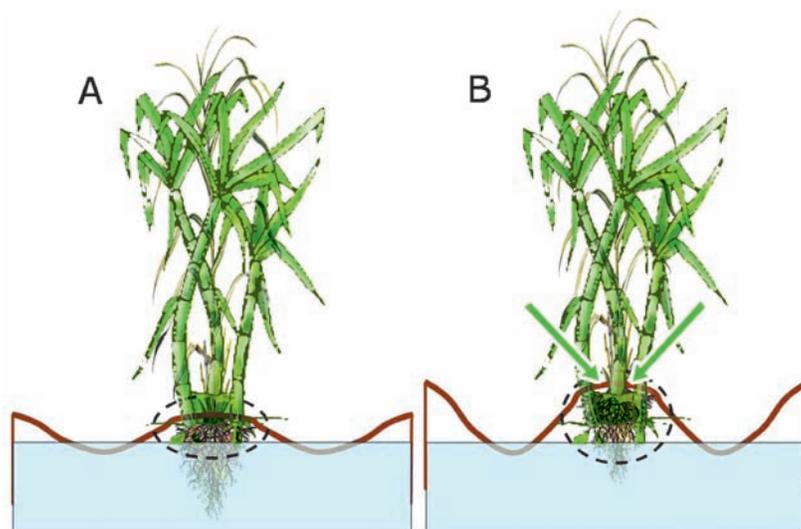


Figura 2. Suelo preparado con: (A) Labores convencionales, (B) Aporque alto o siembra en el lomo. Las flechas indican el sitio de aplicación de los fertilizantes.

## Presencia de la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) en el valle del río Cauca, Colombia

Juan Carlos Ángel S., Marcela Cadavid O. y Jorge Ignacio Victoria K.\*

### Introducción

La roya naranja es causada por el hongo *Puccinia kuehnii* (W. Kruger). E. J. Butler. En el año 2000 esta enfermedad afectó la variedad Q 124 en Australia, lo que produjo pérdidas en la producción estimadas entre 30-40%, tanto en tonelaje como en rendimiento, y fue necesario renovar los campos comerciales. Antes de 2007 la enfermedad se había registrado sólo en países como Papúa (Nueva Guinea), Indonesia, Filipinas y Australia (Magarey *et al.*, 2005).

En 2007 la roya naranja se encontró también en la Florida, Estados Unidos, afectando las variedades CP 80-1743 y CP 72-2086 (Comstock *et al.*, 2008).

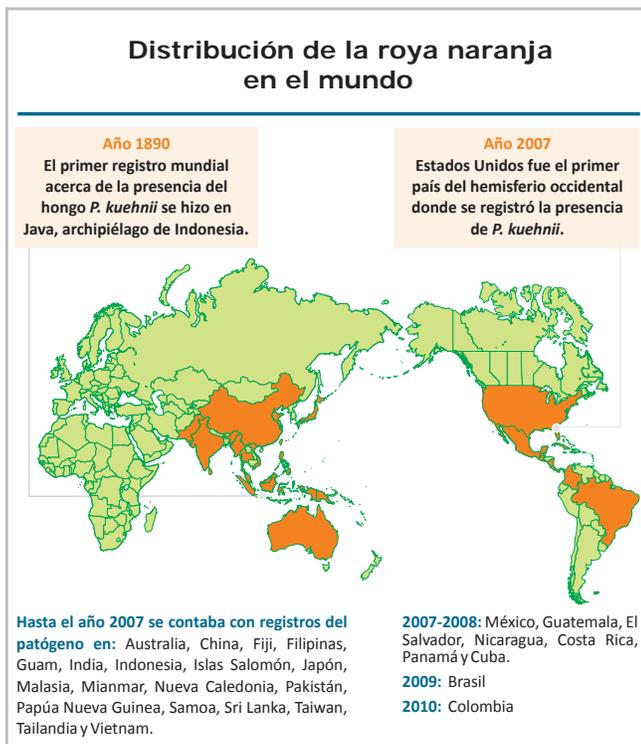
En Costa Rica, entre julio y agosto de 2007 se observaron síntomas en las variedades SP 71-5574, CP 72-2086, Pindar, Q 132, Q 138, SP 71-5574 y SP 79-2233 (Chavarria *et al.*, 2009). En septiembre se detectó en Guatemala en la variedad CP 72-2086, que para esa época era la más sembrada en el país (Ovalle *et al.*, 2008; Ovalle *et al.*, 2009). Los mismos síntomas se observaron en la variedad CP 72-2086 en los ingenios Sancarlos y Monte Rosa en Nicaragua (Chavarria *et al.*, 2009), también en septiembre de 2007.

Al siguiente año, en 2008, se encontró en México (Flores *et al.*, 2009) en las variedades Mex 57-1285, Mex 61-230 y Co 301; en El Salvador en la variedad CP 72-2086 y en Panamá en la SP 74-8355 (Flores *et al.*, 2009).

En Suramérica y el Caribe se presentó en las variedades SP 89-1115, RB 72-454 y SP 84-2025 en Brasil (Barbasso *et al.*, 2010), y en Cuba en las variedades comerciales C 1051-73, C 86-12, C 88-380, C 89-147, C 90-317 y CP 52-43 (Díaz *et al.*, 2010), luego de identificar sus síntomas en áreas experimentales de la Estación Territorial de Investigaciones de Caña de Azúcar de Villa Clara y ser confirmados en el laboratorio.

En Colombia se detectó en julio del 2010 en la variedad CC 01-1884, en el experimento de prueba regional para zonas húmedas sembrado en el Ingenio La Cabaña (Ángel *et al.*, 2010).

Los síntomas iniciales de la roya naranja de la caña de azúcar son lesiones minúsculas, elongadas y amarillas, que forman una aureola pálida y verde amarillenta a medida que aumentan de tamaño. Cuando las lesiones crecen toman un color que pasa de naranja a naranja marrón. A diferencia de la roya café común, estas lesiones jóvenes nunca llegan a ser marrón oscuro. Grupos de pústulas de roya naranja tienden a aparecer en la superficie de las hojas afectadas; la mayor parte de ellas están en la superficie inferior y hay más lesiones en la base de la hoja (Ryan y Egan, 1989).



\* Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Fitopatólogo <jcangel@cenicana.org>; Bióloga, M.Sc., Microbióloga Agrícola <mcadavid@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Director Programa de Variedades <jvictoria@cenicana.org>. Todos de Cenicaña.

## Materiales y métodos

### Determinación de la enfermedad

Desde que se informó sobre la presencia de la roya naranja en la Florida y en Centroamérica (2007), y debido a la aparición de la roya café en algunas variedades Cenicaña Colombia (CC) en 2006, se inició la inspección y el seguimiento de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en áreas de los ingenios azucareros y sus proveedores, en el valle del río Cauca.

En enero de 2008 Cenicaña envió once muestras de hojas de diferentes variedades CC con síntomas de roya al Laboratorio de Micología Sistemática del Servicio de Investigación Agrícola-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (ARS-USDA) en Beltsville, Maryland, a fin de determinar la presencia de roya naranja mediante los análisis morfológico y molecular.

### Protocolo de evaluación

En todos los sitios se evaluó la tercera hoja con cuello visible, en 20 tallos de cada variedad. En cada hoja se determinó el tipo de pústula o reacción (R) (escala de 0-9) y se estimó el porcentaje de incidencia (I) del daño (0-100) de acuerdo con las pautas definidas para roya café (Purdy y Dean, 1980) (Figura 1).

Las variedades con infección  $\leq 5$  e incidencia hasta 12% se consideran resistentes; aquellas con grado  $\geq 6$  e incidencia mayor de 12% son susceptibles (Victoria, Moreno y Cassalet, 1989). De cada parcela evaluada se tomaron muestras de hojas y se llevaron al laboratorio de fitopatología de Cenicaña para su evaluación y confirmación morfológica por microscopía de luz.

### Evaluación de prueba regional, serie 2001, en zonas húmedas

Se evaluaron las variedades en plantilla en:

- Incauca, hacienda Cachimbalito 24 (11 meses)
- Riopaila Castilla (planta Castilla), hacienda Reporter 190 (14 meses)
- Riopaila Castilla (planta Riopaila), hacienda Valparaíso 140 (12 meses)
- Sancarlos, hacienda Argelia 422 A (11.8 meses)
- Ingenio Carmelita, hacienda El Rhin suerte 16 (6 meses)
- Risaralda, Santa Lucía 12Z, primera soca (4 meses).

### Evaluación de semilleros de variedades CC

De las 82 variedades para zonas de piedemonte, húmeda y semiseca, y seleccionadas para pruebas regionales, se evaluaron los semilleros de Cenicaña ubicados en el Ingenio Castilla. La valoración se realizó entre los 7 y 12 meses de edad, en la primera y segunda soca.

### Escala para la calificación de resistencia de la caña de azúcar a las royas

Reacción	Descripción según el tipo de pústula	Calificación
0	Infección no visible. Roya presente en la zona geográfica.	Resistente
1	Pequeñas rayas cloróticas solamente.	
2	Rayas necróticas solamente.	
3	Manchas pequeñas a grandes, de forma irregular, rojas a cafés; pueden estar fusionadas entre sí. Ausencia de pústulas.	
4	Manchas individuales cloróticas o rojas, con pústulas sin abrir.	
5	Manchas individuales cloróticas o rojas, con pústulas abiertas y produciendo esporas.	Susceptible
6	Manchas grandes en la hoja, enrojecidas o necróticas, con pústulas produciendo esporas.	
7	Manchas rojas o cafés, fusionadas, que cubren gran parte de la lámina foliar de un borde a otro y atraviesan la nervadura central, con pústulas esporulantes.	
8	Las pústulas en tejido clorótico esporulando activamente	
9	Las pústulas con tejido verde esporulando activamente.	

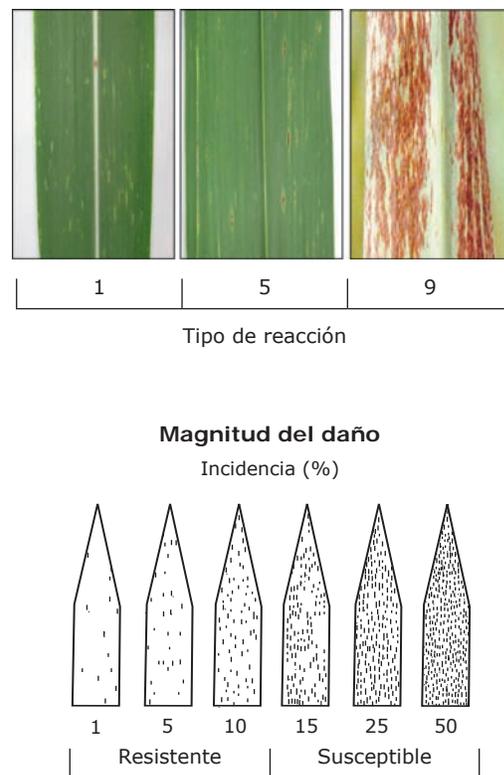


Figura 1. Escala de Purdy y Dean (1980) utilizada para la evaluación de roya café y roya naranja en caña de azúcar, en observaciones hechas directamente en el campo. La resistencia no significa que las variedades sean inmunes.

## Evaluación de prueba regional, series 97-01 en zonas secas-semisecas

Para roya naranja se evaluaron las variedades de las pruebas regionales, de la serie 1997 al 2001, de los ingenios Riopaila, Sancarlos y Providencia.

## Evaluación en variedades comerciales y promisorias

Teniendo en cuenta la presencia de la roya naranja en la Florida y Centroamérica, se realizó la inspección constante y el seguimiento de lotes comerciales y semilleros de nuevas variedades CC en ingenios y proveedores, desde el año 2007 a noviembre de 2010.

## Resultados y discusión

### Determinación de la enfermedad

Las once muestras de hoja de las variedades MZC 74-275, CC 94-5827, CC 93-3895, CC 85-92, CC 84-75 y CC 94-5446, tomadas en los ingenios Castilla, Sancarlos, Providencia y Sicarare, y enviadas al ARS-USDA en enero de 2008 para su análisis molecular, revelaron la presencia sólo de roya café y la ausencia de roya naranja (Comstock, comunicación personal). Evaluaciones realizadas en México mostraron ausencia de roya naranja en las variedades comerciales CC 85-92 y CC 84-75.

En julio de 2010, en semilleros y en los lotes de las pruebas regionales de la serie 2001 en zona húmeda, localizados en los ingenios Castilla y La Cabaña, hacienda Cabaña 25D, se encontraron síntomas característicos de roya naranja en la variedad CC 01-1884. Estas muestras se analizaron, y se confirmaron los síntomas, visual y morfológicamente, por microscopía óptica convencional y electrónica de barrido, al compararlas con muestras de la roya café tomadas de la variedad CC 85-92. Con base en estos resultados, personal del área de fitopatología de Cenicaña hizo evaluaciones a pruebas de experimentación en ingenios.

### Prueba regional, serie 2001, zonas húmedas

En el Cuadro 1 se muestran los resultados encontrados en las inspecciones realizadas en la prueba regional.

En Incauca se observó una baja incidencia (R=5, I=2) de la roya naranja en la variedad CC 01-1884, en la tercera hoja con cuello visible; en la variedad CC 01-1866 se presentó la enfermedad en las hojas bajas, donde no se hace la evaluación, según el protocolo de la misma.

En el Ingenio La Cabaña se evaluó la variedad CC 01-1884, que presentó una alta incidencia de roya naranja, con una reacción de 7 y una severidad del 15%.

En Riopaila fue menor y sólo se presentó en la variedad CC 01-1884, con reacción 5 y baja incidencia (1%), mientras que en la planta Castilla tuvo alta incidencia en la variedad CC 01-1884 (R=7, I=10), muy semejante a lo observado en el Ingenio La Cabaña. La CC 01-1866 mostró baja incidencia (R=5, I=2).

Por su parte, en el Ingenio Sancarlos se observó la enfermedad en las variedades CC 01-1884 y CC 01-1866, con reacción 5 en ambos casos e incidencias del 15% y 4%, respectivamente.

En el Ingenio Risaralda no se encontró roya naranja.

En el Ingenio Carmelita se determinó su presencia en las variedades CC 01-1884 y CC 01-1866 y la reacción fue de 5 en ambos casos e incidencias de 10% y 1%, respectivamente. El resto de variedades no presentaron roya naranja. En todas las evaluaciones realizadas la CC 85-92 no presentó roya naranja.

Las parcelas de las variedades CC 01-1884 y CC 01-1866 se eliminaron en todos los experimentos evaluados. Se confirmó la presencia de la enfermedad por evaluación morfológica mediante microscopía de luz en el laboratorio.

### Evaluación de semilleros de variedades CC

Tres variedades resultaron positivas para roya naranja y roya café y 22, sólo para roya naranja. En semilleros para zonas secas-semisecas mostraron roya naranja: CC 01-746, 00-3068, 97-7565, 01-1484, 01-1508, 01-1305, 00-2639, 98-347, 98-426, CC 99-1405, 96-6839, 01-1789 y 97-7170 con incidencias entre 1-15% y reacción de 5. Seis variedades no manifestaron la enfermedad. La variedad CC 01-1305 tuvo alta incidencia de roya naranja en la evaluación, por lo que se considera susceptible (Cuadro 2).

Cuadro 1. Evaluación de variedades de la serie 2001 en prueba regional en zonas húmedas.

Variedad	Cauca <sup>1</sup>		Cabaña		Riopaila		Sancarlos		Castilla		Risaralda		Carmelita	
	R <sup>2</sup>	I <sup>2</sup>	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
CC 01-1817	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC 01-1866	0	0	0	0	0	0	5	4	5	2	0	0	5	1
CC 01-1884	5	2	7	15	5	1	5	15	7	10	0	0	5	10
CC 01-1922	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC 01-1940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC 85-92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1. Evaluación realizada entre los 4-14 meses de edad.

2. R (reacción): 0-9; I (incidencia): 0-100%.

Cuadro 2. Evaluación de semilleros (seco-semisecho).

Variedad	Edad (meses)	Corte	Roya	
			Reacción	I (%)
CC 01-1305	12	2a Soca	5	15
CC 97-7565	12	2a Soca	5	12
CC 00-3068	12	2a Soca	5	10
CC 99-1405	12	2a Soca	5	8
CC 98-426	12	2a Soca	5	7
CC 98-347	12	2a Soca	5	5
CC 01-1789	12	2a Soca	5	5
CC 96-6839	12	2a Soca	5	5
CC 01-1484	12	2a Soca	5	3
CC 01-746	12	2a Soca	5	2
CC 01-1508	12	2a Soca	5	2
CC 00-2639	12	2a Soca	5	2
CC 97-7170	12	2a Soca	5	1
CC 00-3007	12	2a Soca	0	0
CC 01-1228	12	2a Soca	0	0
MZC 74-275	12	2a Soca	0	0
CC 00-2924	12	2a Soca	0	0
CC 01-1236	12	2a Soca	0	0
CC 00-3079	12	2a Soca	0	0

En semilleros para zonas de piedemonte, las variedades CC 01-746, RB 73-2223, CC 04-707, CC 04-599, CC 98-997, CC 01-183, CC 01-399, CC 01-86 y CC 98-426 mostraron roya naranja con incidencias entre 1-12% y reacción de 5 ó menos, hecho que las cataloga como resistentes a pesar de su infección. La variedad con mayor incidencia de roya naranja fue la CC 01-86, con 12% y reacción de 5. Treinta y cinco variedades no presentaron la enfermedad (Cuadro 3).

En los semilleros para zonas húmedas, las variedades CC 01-1884 y CC 01-1866 presentaron roya naranja, con una alta incidencia en la CC 01-1884. Las variedades CC 01-1940, CC 01-1922, CC 01-1817, CC 84-75 y CC 85-92 no presentaron afección (Cuadro 4).

### Prueba regional, serie 97-01, zonas secas-semisecas

En los tres sitios evaluados mostró alta susceptibilidad la variedad CC 01-1305 (R=6, I=15-20 %). Con roya naranja, pero con baja incidencia, estuvieron las variedades CC 00-3068, CC 98-426, CC 01-1484, CC 00-3191, CC 97-7565, CC 99-1405 y CC 01-746, MZC 74-275, CC 00-3191 y CC 97-7170. Éstas tenían una reacción de 5 ó menos, por lo que se catalogan como resistentes, pese a la infección. En las variedades CC 01-1789, CC 01-1508 y CC 00-2639 no se presentó roya naranja en la tercera hoja con cuello visible, pero sí se encontró en hojas bajas, aunque con baja incidencia (Cuadro 5).

Cuadro 3. Evaluación de semilleros (piedemonte).

Variedad	Edad (meses)	Corte	Roya	
			Reacción	I (%)
CC 01-86	7	1a Soca	5	12
CC 98-426	7	1a Soca	5	7
RB 73-2223	7	1a Soca	5	4
CC 01-399	7	1a Soca	5	2
CC 01-746	7	1a Soca	5	1
CC 04-707	7	1a Soca	5	1
CC 04-599	7	1a Soca	5	1
CC 98-997	7	1a Soca	5	1
CC 01-183	7	1a Soca	5	1
CC 85-92	7	1a Soca	0	0
CCSP 89-43	7	1a Soca	0	0
CC 84-56	7	1a Soca	0	0
CC 84-75	7	1a Soca	0	0
SP 71-6949	7	1a Soca	0	0
PR 67-1070	7	1a Soca	0	0
CC 85-92	7	1a Soca	0	0
CC 95-5992	7	1a Soca	0	0
CC 93-7711	7	1a Soca	0	0
CC 91-1590	7	1a Soca	0	0
CC 99-2461	7	1a Soca	0	0
CC 00-3079	7	1a Soca	0	0
CC 91-1606	7	1a Soca	0	0
CC 00-3867	7	1a Soca	0	0
CO 421	7	1a Soca	0	0
CC 00-3771	7	1a Soca	0	0
CC 00-3403	7	1a Soca	0	0
CC 00-3885	7	1a Soca	0	0
PR 75-2002	7	1a Soca	0	0
CC 00-3614	7	1a Soca	0	0
CC 00-3755	7	1a Soca	0	0
CC 00-3870	7	1a Soca	0	0
CC 04-627	7	1a Soca	0	0
CC 04-656	7	1a Soca	0	0
CC 04-849	7	1a Soca	0	0
CC 01-336	7	1a Soca	0	0
CC 04-667	7	1a Soca	0	0
CC 04-884	7	1a Soca	0	0
CC 98-615	7	1a Soca	0	0
CC 99-2455	7	1a Soca	0	0
CC 99-2493	7	1a Soca	0	0
CC 98-1124	7	1a Soca	0	0
CC 01-385	7	1a Soca	0	0
CC 00-3012	7	1a Soca	0	0
CC 00-3257	7	1a Soca	0	0

Cuadro 4. Evaluación de semilleros (zonas húmedas).

Variedad	Edad (meses)	Corte	Roya	
			Reacción	I (%)
CC 01-1884	12	1a Soca	7	15
CC 01-1866	12	1a Soca	5	5
CC 85-92	12	Plantilla	0	0
CC 84-75	12	Plantilla	0	0
CC 01-1940	12	1a Soca	0	0
CC 01-1817	12	1a Soca	0	0
CC 01-1922	12	1a Soca	0	0

Cuadro 5. Evaluación de prueba regional, series 97-01, zonas secas-semisecas.

Variedad	Riopaila		Sancarlos		Providencia	
	Roya		Roya		Roya	
	R <sup>1</sup>	I <sup>1</sup>	R	I	R	I
CC 85-92	0	0	0	0	0	0
CC 01-1305	6	15	6	15	6	20
MZC 74-275	5	1	5	1	5	1
CC 00-3068	5	1	0	0	5	4
CC 00-2924	0	0	0	0	0	0
CC 98-426	5	1	5	1	5	1
CC 01-1228	0	0	0	0	0	0
CC 01-678	0	0	*	*	0	0
CC 01-1484	4	2	0	0	5	2
CC 01-1789	0	0	0	0	0	0
CC 01-1508	0	0	0	0	0	0
CC 00-3079	0	0	0	0	0	0
CC 01-1567	0	0	0	0	0	0
CC 97-7170	5	1	5	1	5	2
CC 99-1405	4	1	0	0	5	1
CC 00-3191	4	2	0	0	5	1
CC 97-7565	5	1	0	0	5	7
CC 00-2639	0	0	0	0	0	0
CC 01-746	5	10	0	0	5	2

1. R:Reacción (0-9) I: Incidencia (0-100).

\*: No existe.

### Evaluación en variedades comerciales y promisorias

Entre los años 2007 y 2009 se evaluaron 75 haciendas de los ingenios Manuelita, Risaralda, Sicarare, Providencia, Incauca, María Luisa y Mayagüez, y no se encontró presencia de roya naranja. Durante el 2010 se evaluaron 70 haciendas de los ingenios Incauca, Riopaila Castilla (dos plantas), Manuelita, Mayagüez, Tumaco, La Cabaña,

Sancarlos, Pichichí, Carmelita y Providencia; haciendas de proveedores sembradas con las variedades CC 85-92, CC 84-75, CC 01-1228, CC 93-3826, CC 01-1940, CC 92-2804, CC 01-678, CC 93-4418, CC 93-4181, CC 98-72, y semilleros de variedades de las series 92, 93, 00, 01, 03 y 04. En ningún sitio o variedad se evidenció la presencia de roya naranja.

Las variedades CC 85-92 y CC 84-75, que ocupan el primer y segundo lugar de siembra en el Valle del Cauca, permanecen resistentes a la roya naranja.

Con la presencia de la enfermedad en el Valle del Cauca, Cenicaña involucró la resistencia a roya naranja en el proceso de producción de nuevas variedades.

Se continúa con la inspección de campo para roya naranja, especialmente de las variedades CC nuevas y promisorias, tanto en semilleros y lotes comerciales como en las diferentes haciendas de los ingenios y proveedores.

### Capacitación de personal vinculado con fincas de ingenios y proveedores

Debido a la aparición de la roya naranja, el grupo de ingenieros agrónomos y personal de campo de doce ingenios azucareros y fincas de proveedores de caña se capacitaron en el conocimiento de la afección a través de foros, reuniones de los Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT), conferencias y días de campo.

Cenicaña elaboró un afiche y una tarjeta de bolsillo con la alerta fitosanitaria, donde se presentan los síntomas de la roya naranja, su distribución en el mundo y las indicaciones principales de manejo de la enfermedad.

### Conclusiones

- Se confirmó la presencia de roya naranja en el valle del río Cauca que afecta variedades evaluadas en pruebas regionales y semilleros.
- La enfermedad se encuentra en proceso de distribución y diseminación en el sector azucarero.
- Las mayores incidencias se encontraron en las variedades CC 01-1884 y CC 01-1305, en la prueba para zonas húmeda y semiseca. Se consideraron susceptibles, por lo que se recomendó y efectuó su erradicación.
- En 82 variedades evaluadas en semilleros para zonas húmeda, semiseca y piedemonte, 25 resultaron positivas para roya naranja.
- Las variedades CC 85-92 y CC 84-75 mostraron resistencia a roya naranja.
- Más del 98% del área en caña de azúcar, en el valle del río Cauca, tiene sembradas variedades resistentes a la roya naranja.

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

## 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 kuehni*, agente causal de la enfermedad roya naranja.

### Sintomas

- 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.

### DISTRIBUCIÓN DE LA ENFERMEDAD

En Colombia, hasta el momento el 90% del área dedicada a la producción de azúcar se encuentra sembrada con variedades resistentes.

Más información en [www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

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.

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

## 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 kuehni*, agente causal de la enfermedad roya naranja.

### Sintomas

- 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.

### DISTRIBUCIÓN DE LA ENFERMEDAD

En Colombia, hasta el momento el 90% del área dedicada a la producción de azúcar se encuentra sembrada con variedades resistentes.

Más información en [www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

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.

Afiche y tarjeta de bolsillo distribuidos a los productores azucareros para difundir la voz de alerta fitosanitaria acerca de la presencia de la roya naranja en el valle del río Cauca.

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

## Servicios técnicos e información en sanidad vegetal

- Diagnóstico de enfermedades**  
Análisis de muestras para determinación de incidencia de raquitismo de la soca (RSD), escaldadura de la hoja (LSD), síndrome de la hoja amarilla (SCYL), virus baciliforme (SCBV) y virus del mosaico de la caña (SCMV).
- Visita de evaluación fitopatológica en campo**  
Visita de un técnico de Cenicaña para la evaluación completa de semilleros y determinación de incidencia de mosaico, royas y carbón.
- Comité de Sanidad Vegetal de la Caña de Azúcar**  
Memorias de reuniones, presentaciones y actas del comité.
- Publicaciones y documentos de trabajo**  
Documentos electrónicos en texto completo.

Laboratorio de Fitopatología • Laboratorio de Entomología  
Estación Experimental de Cenicaña en San Antonio de los Caballeros

## Referencias bibliográficas

Ángel J. C.; Cadavid M. y Victoria J. I. 2010. Presencia de roya naranja (*Puccinia kuehni*) en el valle del cauca y estrategias para su manejo. Primer informe de avance. Cenicaña, Cali, Colombia. (Documento de trabajo No. 715).

Barbasso D.; Jordao H.; Maccheroni W.; Boldini J.; Bressiani J. y Sanguino A. 2010. First report of *Puccinia kuehni* causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. Plant Disease 94(9):1170.

Comstock, J. C.; Sood, S.G. and Glynn, N. C. 2008. First Report of *Puccinia kuehni*, Causal Agent of Orange Rust of Sugarcane, in the United States and Western Hemisphere. Plant Disease 92(1):175

Chavarría, E.; Subirós, F.; Vega, J.; Ralda, G.; Glynn, N.C.; Comstock, J.C. and Castlebury L.A. 2009. First Report of Orange Rust of Sugarcane Caused by *Puccinia kuehni* in Costa Rica and Nicaragua. Plant Disease 93(4):425.

Díaz O. A.; Barroso F. J.; Díaz F.; Martín E. L.; Pérez L.; Alfonso I.; Pérez J. y Barroso J. 2010. Presencia de la roya naranja *Puccinia kuehni* (Kruger) Butler en áreas experimentales de caña de azúcar de la región Central de Cuba. Fitosanidad 14(2):83-89.

Flores, R. C.; Loyo, J. R.; Ojeda, R. A.; Rangel, O.C.A.; Cerón, F.A.; Márquez, W.; Guerra-Moreno, A.S.; Hernández-Ibarra, H.M.; González, R.E.; Castlebury, L.A.; Dixon, L.J.; Glynn, N.C.; Comstock, J.C.; Flynn, J. and Amador, J. 2009. First Report of Orange Rust of Sugarcane Caused by *Puccinia kuehni* in Mexico, El Salvador and Panama. Plant Disease 93(12):1347.

Ovalle, W.; Comstock, J.C.; Glynn, N.C. and Castlebury. 2008. L.A. First report of *Puccinia kuehni*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Guatemala. Plant Disease 92(6):973.

Ovalle W.; Orozco H.; Quemé J.; Melgar M. y García S. 2009. La roya naranja en Guatemala y estrategias para su manejo. Disponible en <[www.SugarJournal.com](http://www.SugarJournal.com)>.

Magarey, R.; Staier, T.; Bull, J.; Croft, B. and Willcox, T. 2005. The Australian sugarcane orange rust epiphytotic. ISSCT. Proceedings. XXV Congress. Guatemala. pp. 648-653.

Purdy, L.H. y Dean J.L. 1980. Un sistema para registrar los datos sobre las interacciones entre la roya de la caña de azúcar y el hospedero. p.177-180. En: Seminario Interamericano de la Caña de Azúcar, 1. Enfermedades de la caña de azúcar. Memorias. Miami. 8-10 octubre, 1980. Vanguard, Miami.

Ryan, C.C. y Egan, B.T. 1989. Rust. p.189-210. En: Ricaud, C.; Egan, B.T.; Gillaspie, A.G. y Hughes, C.G. (eds.). Diseases of sugarcane, major diseases. Elsevier Science publisher B.V., Amsterdam, The Netherlands. 399 p.

Victoria, J.I.; Moreno, C. y Cassalet, C. 1989. Genotype-environment interaction and its effect on sugarcane rust incidente. p.723-731. En: Congress International Society of Sugarcane Technologist, 20. Proceedings. Sao Paulo. Brasil. 12-21 october, 1989. ISSCT, Sao Paulo, Brasil.

# Métodos de diferenciación en campo y laboratorio de los agentes causales de la roya café (*Puccinia melanocephala*) y la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) en caña de azúcar

Marcela Cadavid Ordóñez, Juan Carlos Ángel Sánchez,  
Jorge Ignacio Victoria Kafure\*

## Introducción

Las enfermedades causadas por roya son consideradas las más destructivas para las plantas. Las ocasionan hongos de la clase Basidiomicetos, del orden Uredinales y familia Pucciniaceae, a los que pertenecen también los agentes causales de la roya café y la roya naranja en caña de azúcar, *Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd. y *Puccinia kuehnii* E.J. Butler (Alexopoulos, 1962; Agrios, 2005).

### Clasificación taxonómica de los agentes causales de la roya café y la roya naranja

Reino	Fungi
División	Basidiomycota
Clase	Basidiomicetos
Subclase	Heterobasidiomicetos
Orden	Uredinales
Familia	Pucciniaceae
Género	Puccinia
Especie	<i>Puccinia melanocephala</i> (roya café) <i>Puccinia kuehnii</i> (roya naranja)

Fuente: Alexopoulos, 1962; Agrios, 2005.

La roya café o roya común fue identificada por primera vez en la caña de azúcar en Java en 1890. A partir de 1978, luego de registrarse en el Caribe, su distribución es considerada mundial (Ryan y Egan, 1989).

Por su parte, la roya naranja fue reportada en el hemisferio oriental, en las islas del Pacífico sur, Nueva Guinea, Fiji, Malasia, Australia, entre otros, a partir del año 1890;

y sólo hasta 2007 se registró en el continente americano en el estado de la Florida, Estados Unidos (Comstock *et al.*, 2008). De ahí se expandió hacia Centroamérica, pasando por países como México, Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Cuba, durante los años 2007 y 2008 (Ovalle *et al.*, 2008; Chavarría *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2010).

En diciembre del 2009 la roya naranja se encontró en Brasil (Barbasso *et al.*, 2010) y en julio de 2010, en el valle del río Cauca, Colombia, en la variedad CC 01-1884 (Ángel *et al.*, 2010a y 2010b).

Los síntomas foliares y las características de las esporas asociadas a estos patógenos de roya café y roya naranja en caña de azúcar pueden ser fácilmente distinguidos (Ryan y Egan, 1989).

## Diferenciación en campo

Debido a la cercanía taxonómica existen similitudes en la sintomatología de la roya café y la roya naranja en caña de azúcar. Inicialmente, en ambas royas se presentan pequeñas manchas cloróticas y alargadas de color amarillo pálido, en ambos lados de la hoja, que aumentan de tamaño y adquieren una coloración marrón oscuro en la roya café y anaranjado o café claro en la roya naranja. Lesiones jóvenes de roya naranja nunca llegan a ser café oscuro (Figura 1). Las lesiones de las dos royas forman pústulas, principalmente en el envés de las hojas, que contienen las esporas del hongo. Éstas son distribuidas y diseminadas por el viento a cortas y grandes distancias, y presentan una apariencia de polvo disperso.

Las diferencias en la sintomatología de las dos enfermedades y las lesiones de roya café y roya naranja sobre el envés de una misma hoja se observan en la Figura 2.

\* Bióloga, M.Sc., Microbióloga Agrícola <mcadavid@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Fitopatólogo <jcangel@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Director Programa de Variedades <jvictoria@cenicana.org>. Todos de Cenicaña

Síntomas de roya café y roya naranja en la lámina foliar de la caña de azúcar

Lesiones de coloración marrón oscuro típicas de roya café (*P. melanocephala*)

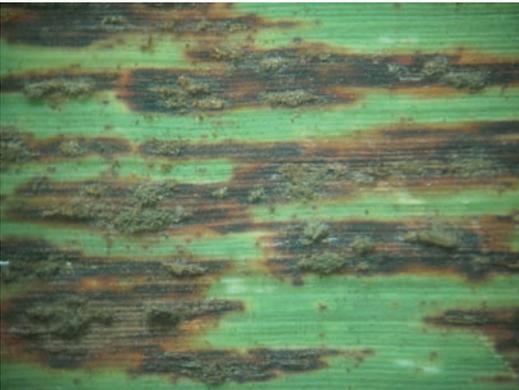
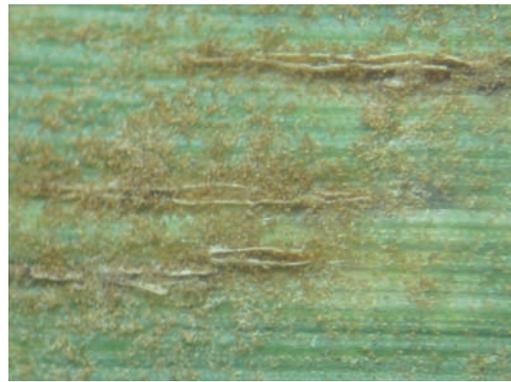


Imagen tomada al estereomicroscopio

Lesiones de color anaranjado o café claro típicas de roya naranja (*P. kuehni*)



Fotografías: Marcela Cebalid O.

Imagen tomada al estereomicroscopio

Figura 1. Síntomas de roya café y roya naranja observados en la lámina foliar de la caña de azúcar.



Figura 2. Síntomas de roya café y roya naranja sobre el envés de una misma hoja.

En la Figura 3 se muestra la secuencia de aparición de los síntomas de la roya naranja y su evolución. El síntoma inicial son pequeñas lesiones alargadas de color amarillo pálido sobre ambos lados de la hoja (Figura 3 A y B), que aumentan de tamaño, forman pústulas en el envés de la hoja y adquieren una coloración anaranjada o café claro (Figura 3 C, D y E). En esas pústulas la epidermis de la

hoja se rompe y ocurre la liberación de las esporas, que tienen una apariencia de polvo anaranjado disperso y se diseminan con el viento a grandes distancias (Figura 3 F y G). Finalmente, las lesiones viejas de roya naranja pueden llegar a ser de color marrón oscuro y alcanzar una coloración muy semejante a las de la roya café (Figura 3H).

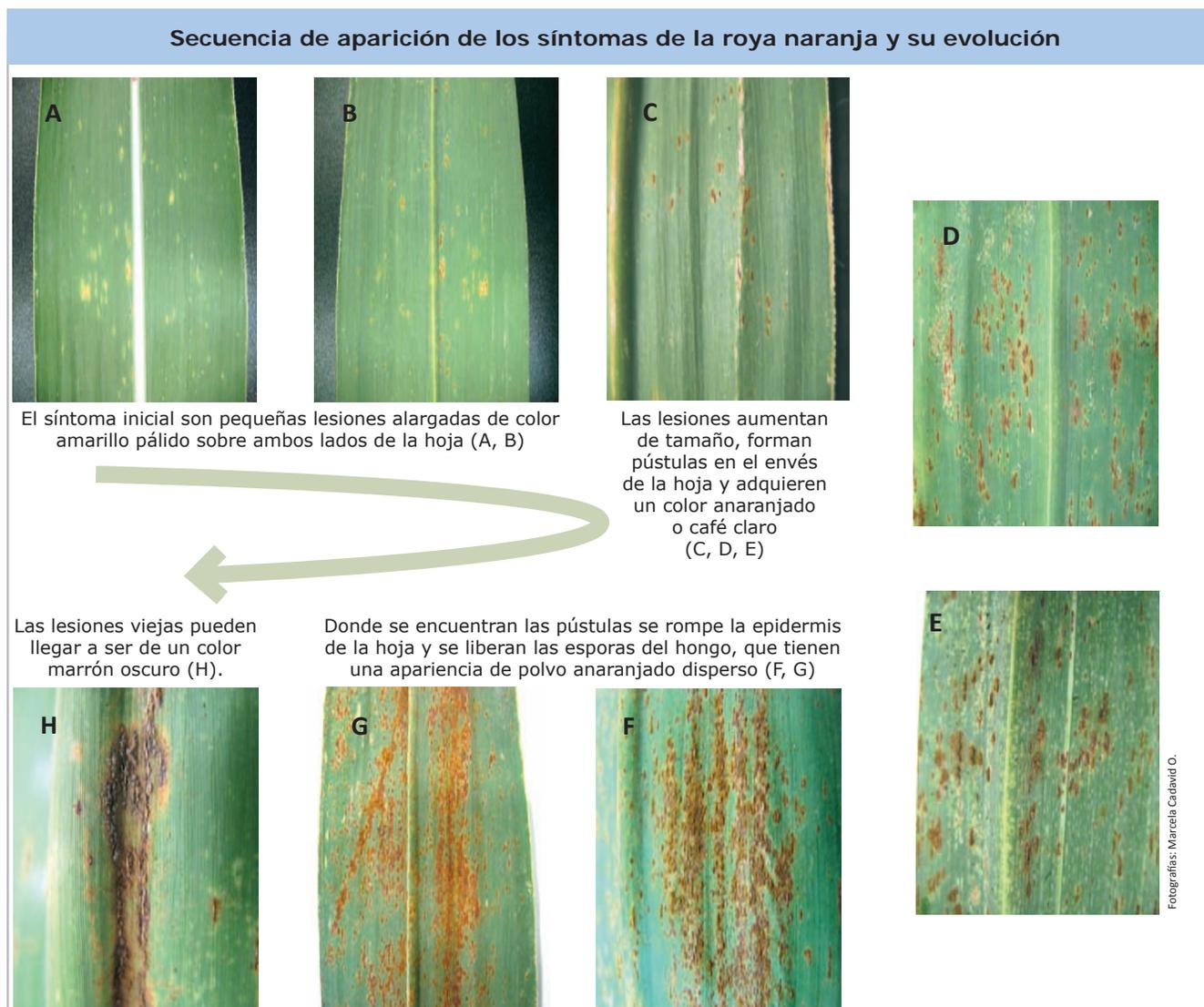


Figura 3. Secuencia de aparición de los síntomas de la roya naranja y su evolución.

## Diferenciación en laboratorio

Las royas son parásitos obligados, altamente especializados y muy difíciles de cultivar de modo artificial en el laboratorio. El ciclo de vida de las royas es uno de los más complejos de todo el reino Fungi, debido a que producen hasta cinco tipos de estados o estructuras fructíferas diferentes, separados en el tiempo y el espacio, que dificultan su conocimiento y control.

Los estados y las estructuras que los originan son: (0) Espermacio (Pycnia), originado por espermogonios; (I) Aeciospora, por aecidios; (II) Uredospora, por uredinios; (III) Teliospora, por telios; (IV) Basidiospora, originado por basidios.

Los micólogos expertos consideran que la teliospora es el estado perfecto de los Uredinales porque es cuando se presentan la cariogamia y la meiosis, correspondientes a la fase sexual de su ciclo de vida (Agrios, 2005).

Los Uredinales se clasifican en dos grupos, a partir de sus ciclos de vida: los macrocíclicos, o de ciclo largo, cuando se origina al menos un estado adicional a las teliosporas y basidiosporas; y los microcíclicos, o de ciclo corto, cuando las teliosporas y basidiosporas son las únicas esporas producidas (Alexopoulos, 1962; Agrios, 2005).

En las royas de la caña de azúcar sólo se observan los estados de uredosporas (II) y teliosporas (III) (Virtudazo *et al.*, 2001). Estas estructuras son las que permiten hacer la diferenciación de las especies del género *Puccinia* (*P. melanocephala* para roya café y *P. kuehnii* para roya naranja) por microscopía óptica.

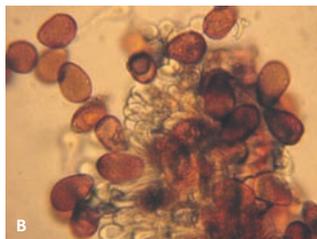
### Microscopía óptica

En el uredinio que contiene las uredosporas de *P. melanocephala*, causante de la roya café, se observan típicamente dos estructuras: las uredosporas, de color rojizo-café y forma generalmente ovoide con pared delgada y uniforme, y los parafisos, estructuras hialinas de cuello largo que facilitan la dispersión de las uredosporas con el viento (Figuras 4A-B). En el telio de *P. melanocephala*, las teliosporas son biceldadas, de una coloración generalmente café oscura (Figuras 4C-E).

En el uredinio de *P. kuehnii*, causante de la roya naranja, los parafisos están ausentes y las uredosporas son de color anaranjado claro, de forma generalmente piriforme, con un engrosamiento en la parte apical de la pared, característico de la especie, como lo indican las flechas en la Figura 5. En el telio, aunque se ha registrado la presencia de teliosporas hialinas en *P. kuehnii* (Virtudazo *et al.*, 2001), a la fecha no se han visualizado en lesiones de roya naranja en Colombia.

### Uredinio y telio, estructuras fructíferas de roya café

Uredinio con uredosporas de color rojizo-café, ovoides, de pared delgada y uniforme, en presencia de parafisos (A, B)



Telio con teliosporas biceldadas, generalmente de coloración café oscura (C, D, E)



Figura 4. Uredinio y telio de *P. melanocephala*, hongo causal de la roya café, vistos al microscopio óptico (objetivo 40X).

### Uredinio, estructura fructífera de roya naranja

Uredinio con uredosporas de color anaranjado claro, piriformes y con engrosamiento de la pared en el ápice o punta (flechas), en ausencia de parafisos (A, B, C, D)

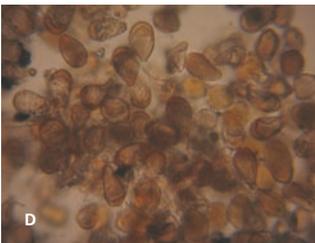
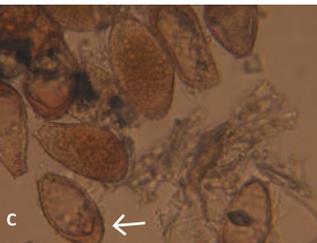


Figura 5. Uredinio de *P. kuehnii*, hongo causal de la roya naranja, visto al microscopio óptico (objetivo 40X).

## Microscopía electrónica de barrido

En la Unidad de Virología del Centro de Agricultura Tropical (Ciat) se evaluaron por microscopía electrónica de barrido (SEM, *Scanning Electron Microscopy*) muestras de hojas de la variedad CC 85-92 con lesiones de roya café y muestras de la variedad CC 01-1884 con lesiones de roya naranja. Los resultados revelaron diferencias entre las dos especies.

En roya café (*P. melanocephala*) el uredinio presentó uredosporas equinuladas de forma densa, con espinas cortas y profundas, y parafisos en abundancia (Figura 6).

En roya naranja (*P. kuehnii*) no se encontraron parafisos y las uredosporas mostraron equinulación moderada, con espinas más largas y dispersas que en *P. melanocephala* (Figura 7) (Virtudazo *et al.*, 2001).

A partir de las imágenes del SEM se determinó el tamaño de las uredosporas, para lo cual se utilizó el software *ImageJ* <<http://rsd.info.nih.gov/ij/>>.

Las uredosporas de la roya café oscilaron entre 25.6-32.4  $\mu\text{m}$  de largo por 16.8-19.7  $\mu\text{m}$  de diámetro, mientras que las de roya naranja fueron más grandes, entre 27.3-39.2  $\mu\text{m}$  de largo por 16.7-21.2  $\mu\text{m}$  de diámetro. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Ryan y Egan (1989) y Virtudazo *et al.* (2001).

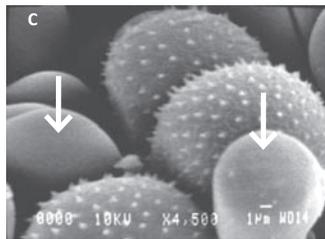
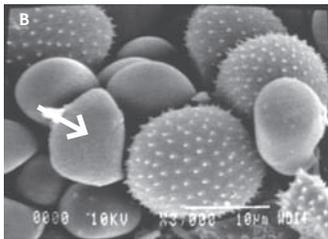
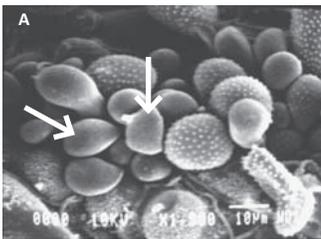
## Propuestas para el diagnóstico en Cenicaña

Como estrategia en el diagnóstico de las royas se planea estandarizar la metodología de PCR en tiempo real empleando iniciadores y sondas específicas con LNA (*Locked nucleic acids*) para *P. melanocephala* y *P. kuehnii*, que provienen de secuencias ITS1, ITS2 y 5.8s del ADN ribosomal (ADNr) (Glynn *et al.*, 2010). Esta metodología permitirá diferenciar molecularmente y de manera específica las dos especies de roya en caña.

Además se estandarizará la técnica PIRA-PCR (*Primer Introduced Restriction Analysis-PCR*) para detectar un SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) en *P. kuehnii* asociado con la distribución geográfica (Glynn *et al.*, 2010).

### Uredinio de roya café en la variedad CC 85-92

Uredinio con parafisos abundantes (flechas) entre las uredosporas (A, B, C)



Uredospora densamente equinulada con espinas cortas y profundas (D)

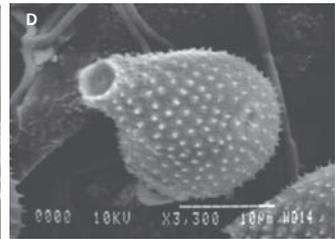
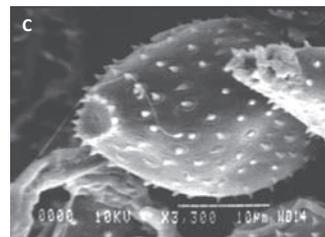
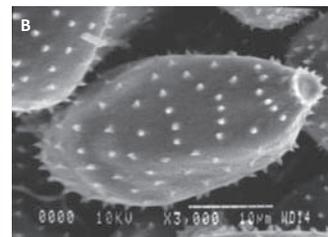
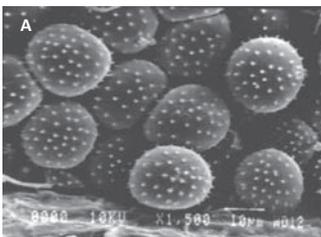


Figura 6. Uredinio de *P. melanocephala*, hongo causal de la roya café, visto al microscopio electrónico de barrido (SEM).

### Uredinio de roya naranja en la variedad CC 01-1884

Uredinio sin presencia de parafisos entre las uredosporas (A, B, C)



Uredospora moderadamente equinulada con espinas más largas y dispersas (D)

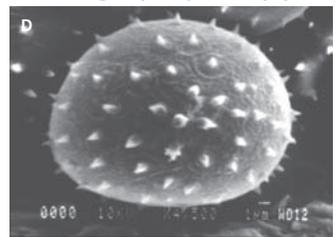


Figura 7. Uredinio de *P. kuehnii*, hongo causal de la roya naranja, visto al microscopio electrónico de barrido (SEM).

## Diferencia con otras enfermedades causadas por hongos

Las lesiones de la roya café y la roya naranja en caña de azúcar se caracterizan por la presencia de pústulas con apariencia de polvo disperso donde se encuentran las esporas del hongo. Esta característica permite diferenciarlas de otras enfermedades también causadas por hongos que se manifiestan porque en las hojas se presentan manchas de coloraciones oscuras, semejantes a las lesiones por roya; no obstante, ninguna de esas enfermedades está asociada con la producción de las pústulas características de las royas (Victoria *et al.*, 1995) (Figura 8).



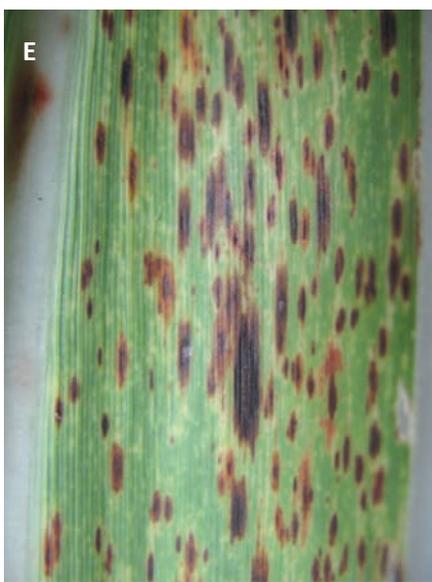
**Mancha púrpura**  
(*Dimeriella sacchari*)



**Mancha de anillo**  
(*Leptosphaeria sacchari*)



**Mancha café**  
(*Cercospora longipes*)



**Mancha de ojo**  
(*Bipolaris sacchari*)



Figura 8. Enfermedades de la caña de azúcar ocasionadas por hongos, conocidas como mancha púrpura (A, B), mancha de anillo (C), mancha café (D, E) y mancha de ojo (F).

## Conclusiones

- Las royas son enfermedades causadas por hongos pertenecientes a los Basidiomycetes, del orden de los Uredinales y de la familia Pucciniaceae, de la cual hacen parte las especies de roya de la caña de azúcar: roya naranja (*P. kuehni* E.J. Butler) y roya café (*P. melanocephala* Syd. & P. Syd.).
- Debido a la cercanía taxonómica de la roya café y la roya naranja, existen similitudes en la sintomatología en caña de azúcar, razón por la cual es importante establecer sus diferencias tanto en campo como en laboratorio.
- En observaciones de campo, en el caso de la roya café las lesiones o pústulas que contienen las esporas del hongo se aprecian de color marrón oscuro. En el caso de la roya naranja se aprecian generalmente de color anaranjado. Las lesiones jóvenes de la roya naranja nunca llegan a ser de color café oscuro.
- Las lesiones de las royas en caña de azúcar, que contienen las esporas del hongo, presentan una apariencia de polvo disperso, característica que permite diferenciarlas de otras enfermedades.
- La diferenciación en laboratorio se realiza con la observación por el microscopio óptico. En roya café se visualizan uredosporas de forma generalmente ovoide, pared delgada y uniforme, en presencia de parafisos, así como se observan teliosporas. En roya naranja las uredosporas presentan forma generalmente piriforme y su pared es irregular con engrosamiento apical; los parafisos y las teliosporas están ausentes.
- Por microscopía electrónica de barrido es posible determinar las diferencias entre la roya café y la roya naranja, según la forma equinulada de las uredosporas: en roya café las espinas son cortas y se distribuyen de manera muy densa, mientras que en roya naranja son más grandes y largas, distribuidas con menor densidad.

## Referencias bibliográficas

- Ángel, J.C.; Cadavid, M. y Victoria, J.I. 2010a. Presencia de Roya Naranja (*Puccinia kuehni*) en el Valle del Cauca y estrategias para su manejo. Primer informe de avance. Cenicafé, Cali, Colombia. 13p. (Documento de trabajo No. 715).
- Ángel, J.C.; Cadavid, M. y Victoria, J.I. 2010b. Alerta fitosanitaria, Roya Naranja en valle del río Cauca. Cenicafé, Cali, Colombia. Carta trimestral, v.32, (enero-junio): 2-3.
- Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. Fifth edition. Elsevier. 922p.
- Alexopoulos, C.J. 1964. Introductory Micology. Second edition. John Wiley & Sons, Inc. 611p.
- Barbasso, D.; Jordao, H.; Maccheroni, W.; Boldini, J.; Bressiani, J. y Sanguino, A. 2010. First report of *Puccinia kuehni* causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. Plant Disease 94 (9):1170.
- Comstock, J.C.; Sood, S.G. and Glynn, N. C. 2008. First Report of *Puccinia kuehni*, Causal Agent of Orange Rust of Sugarcane, in the United States and Western Hemisphere. Plant Disease 92(1):175
- Chavarría, E.; Subirós, F.; Vega, J.; Ralda, G.; Glynn, N.C.; Comstock, J.C. and Castlebury L.A. 2009. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehni* in Costa Rica and Nicaragua. Plant Disease 93(4):425.
- Díaz O. A.; Barroso F. J.; Díaz F. Martín E. L.; Pérez L.; Alfonso I.; Pérez J. y Barroso J. 2010. Presencia de la roya naranja *Puccinia kuehni* (Kruger) Butler en áreas experimentales de caña de azúcar de la región central de Cuba. Fitosanidad 14(2):83-89.
- Glynn, N.C.; Dixon, L.J.; Castlebury, L.A.; Szabo, L.J. and Comstock, J.C. 2010. PCR assays for the sugarcane rust pathogens *Puccinia kuehni* and *P. melanocephala* and detection of a SNP associated with geographic distribution in *P. kuehni*. Plant Pathology. 59:703-711.
- Flores, R. C.; Loyo, J. R.; Ojeda, R. A.; Rangel, O.C.A.; Cerón, F.A.; Márquez, W.; Guerra-Moreno, A.S.; Hernandez-Ibarra, H.M.; González, R.E.; Castlebury, L.A.; Dixon, L.J.; Glynn, N.C.; Comstock, J.C.; Flynn, J. and Amador, J. 2009. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehni* in Mexico, El Salvador and Panama. Plant Disease 93(12):1347.
- Ovalle, W.; Comstock, J.C.; Glynn, N.C. and Castlebury L.A. 2008. L.A. First report of *Puccinia kuehni*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Guatemala. Plant Disease 92(6):973.
- Ryan C.C. and Egan B.T. 1989. Rust. Chapter XIII pages. 189-202. In: Diseases of Sugarcane.
- Victoria, J. I.; Guzmán, M.L. y Angel, J. C. 1995. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. Págs. 265-293. En: C. Cassalet, J. Torres y C. Isaacs. (eds.) El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. Cenicafé, Cali, Colombia.
- Virtudazo, E. V.; Nojima, H. and Kakishima, M. 2001. Taxonomy of *Puccinia* species causing rust diseases on sugarcane. Mycoscience 42:167-175.

# Incidencia de roya café (*Puccinia melanocephala*) en variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca, 2007-2010

Juan Carlos Ángel S., Marcela Cadavid O., Jorge Ignacio Victoria K.\*

## Introducción

La roya café de la caña de azúcar, enfermedad causada por el hongo *Puccinia melanocephala* H. Sydow *et* Sydow, se detectó en Colombia en 1979 en los departamentos de Norte de Santander y Cesar, en la variedad B 4362. En 1981 se encontró por primera vez en el valle del río Cauca, en la variedad CP 57-603, y en 1984 alcanzó niveles de severidad superiores a 30% y grado 8 de reacción (Victoria *et al.*, 1984).

Los síntomas de la roya son pequeñas manchas amarillentas alargadas, visibles por ambos lados de la hoja. En las hojas aparecen pústulas, principalmente en el envés y paralelas a la nervadura central, que rápidamente dejan libres las esporas para ser diseminadas por el viento (Ryan y Egan, 1989). En caso de ataque severo de la enfermedad, las lesiones se unen y forman grandes áreas de color rojizo oscuro que ocasionan secamiento de la hoja. La enfermedad se presenta con mayor severidad en plantas de 4 a 5 meses de edad (Victoria *et al.*, 1995). Después de los seis meses de edad la planta presenta cierto grado de recuperación que depende del nivel de susceptibilidad de la variedad (Victoria *et al.*, 1995).

De acuerdo con los criterios de selección de variedades de Cenicaña, todas se liberan como resistentes porque no presentan infección o tienen grados inferiores o iguales a 5 e incidencias inferiores a 12%. Sin embargo, *P. melanocephala* es un patógeno que pertenece a la familia de las Puccineaceae y se caracteriza por albergar microorganismos de mutación continua con formación de nuevas razas del mismo. Es así como en la India se ha registrado la existencia de razas fisiológicas de *P. melanocephala*, basadas en reacciones diferenciales de variedades de caña. Esto sugiere que las diferentes razas originan cambios en la reacción de las variedades de caña en el campo (Ryan y Egan, 1989).

Las variedades CC 85-92 y CC 84-75 ocupan el primer y segundo lugar de siembra en la actualidad. Otras variedades sobresalientes como la CC 92-2804 y CC 93-3895, que en su momento fueron liberadas como resistentes a la roya café, las están multiplicando los ingenios azucareros. Sin embargo, a

partir de 2007, se observaron cambios en los patrones de infección del patógeno, y las variedades que antes no la presentaban empezaron a mostrarlas con grados de infección que se mantienen inferiores a cinco, aún catalogadas como resistentes. Adicional a lo anterior, las condiciones climatológicas cambiaron, y en ocasiones al subir la temperatura, acompañada de lluvias, la humedad relativa se eleva y favorece la mayor infección por roya café. Estas condiciones ocurrieron principalmente durante el fenómeno de "El Niño".

Debido a que se observó la presencia de roya en estas variedades en diferentes zonas agroecológicas y condiciones ambientales específicas, se efectuaron evaluaciones para determinar su relación con la incidencia de la enfermedad.

## Materiales y métodos

Las evaluaciones de incidencia de la roya café se realizaron entre los años 2007 y 2010, en suertes de los ingenios Castilla, Cabaña, Carmelita, Incauca, María Luisa, Mayagüez, Manuelita, Providencia, Risaralda, Riopaila y Sancarlos; y en áreas destinadas a la producción de semilla y la producción comercial, en cultivo con edades entre 1 y 14 meses.

En cada suerte se hizo un muestreo tomando 20 sitios al azar, y se evaluó la tercera hoja en tallos de cada variedad para determinar el tipo de pústula o reacción (R) empleando la escala de 0-9, donde 0 a 5 son grados de resistencia y 6 a 9, grados de susceptibilidad. Posteriormente, para cada reacción se estimó el porcentaje de incidencia o severidad del daño (I) en la escala 0% a 100%, de acuerdo con las pautas definidas por Purdy y Dean (1980).

Según estudios de Victoria *et al.* (1989), todas las variedades con cinco o menos grados de infección son consideradas resistentes, y aquellas con grado seis 6 o más, como susceptibles.

\* Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Fitopatólogo <jcangel@cenicana.org>; Bióloga, M.Sc., Microbióloga Agrícola, <mcadavid@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Director del Programa de Variedades <jivictoria@cenicana.org>. Todos de Cenicaña.

## Resultados y discusión

Durante 2007 se evaluó la presencia de roya café en 25 suertes de los ingenios Manuelita, Risaralda, Sicarare, Providencia, Incauca, María Luisa y Mayagüez. La enfermedad en la CC 93-3895 presentó reacción 5, con incidencias entre 5% y 15%. La mayor incidencia se observó en las suertes Santa Anita 31A y 27B del Ingenio Manuelita, con un 15%, y se atribuye principalmente a las condiciones climatológicas de los sitios. La CC 85-92 se evaluó en la hacienda El Edén, proveedor del Ingenio Providencia, con edades de 4, 7, 8, 9 10 y 11 meses, y presentó incidencias del 1% al 2% con reacción 3 ó 4. Igualmente, se examinaron las suertes Novillera 12A, de 11 meses y Novillera 12, de 3.5 meses, en el Ingenio Incauca, Remolinos (8 meses), en el Ingenio María Luisa, y Zipango, proveedor del Ingenio Riopaila (4 meses), con incidencias no mayores del 1% y reacción entre 3 y 4.

En el 2008 se evaluaron cultivos en 29 haciendas de los ingenios Cabaña, Castilla, Incauca, Sancarlos, Providencia, Mayagüez, Carmelita, Riopaila y proveedores, y se determinó la incidencia de la roya café en campos entre los 2 y 12 meses de edad de diferentes variedades para uso comercial o semillero. En general, la incidencia de la roya en la CC 85-92 no fue mayor al 8% con reacción 5, en edades de 4 a 6 meses; en edades menores o mayores su efecto fue menor. En CC 84-75 la mayor incidencia fue de 10% con reacción 5, a la edad de 4.6 meses, en el Ingenio Riopaila. Por su parte, en el Ingenio Sancarlos el mayor efecto de roya café se presentó en la CC 93-3895, con 15% y una reacción 5, y la mayor incidencia de roya se observó en MZC 74-275, con un 20% y 6 de reacción.

Durante el 2009 se evaluaron 21 haciendas de los ingenios Castilla, Sancarlos, Manuelita, Providencia, Riopaila, Risaralda y proveedores, con siembras de las variedades CC 85-92, CC 84-75 y CC 93-3895. En cada suerte, entre los 2 y 11 meses de edad, de diferentes zonas para uso comercial o semillero, se analizó la reacción e incidencia de la roya café en 20 hojas seleccionadas al azar. En general, el efecto de la roya en la CC 85-92 estuvo por debajo del 2% con reacción tipo 4, en edades de 2 a 8 meses. Las de mayor incidencia fueron la CC 84-75 y la CC 93-3895, con un 2% y un grado 5 de reacción, en edades de 3 a 5 meses, y un grado de reacción 5, en edades entre 4 y 6 meses, respectivamente.

Durante 2010 y hasta septiembre se evaluó la reacción e incidencia de la roya café en cultivos entre los 2 y 9 meses de edad, en 70 haciendas de los ingenios Incauca, Riopaila, Castilla, Manuelita, Mayagüez, La Cabaña, Sancarlos, Pichichí, Carmelita, Providencia, Riopaila y proveedores, con siembras de las variedades CC 85-92, CC 84-75, CC 01-1228, CC 93-3826, CC 01-1940, CC 92-2804, CC 01-678 y CC 93-4418, y semilleros de las series 92, 94, 00, 01, 03, 04, 05 y 06. En promedio, el efecto de la roya café en la CC 85-92 fue del 12% con reacción tipo 5, aunque en algunos lotes sobrepasaron más del 15%, con una

reacción igual o superior a 5. Para el caso de la CC 84-75 y la CC 92-2804, la mayor incidencia fue de 10% con grado 5 de reacción, en ambos casos. La variedad CC 01-1228 presentó baja incidencia de roya en semilleros y lotes comerciales (R=5, I=4). Las variedades CC 94-5827, CC 06-783 y CC 00-4292 mostraron susceptibilidad a la roya café (R=7, I=20).

De todos los lotes donde se localizó roya café se tomaron muestras, y posteriormente se analizaron en el laboratorio de Fitopatología de Cenicaña para determinar, por medio del microscopio de luz, la especie de roya presente. El resultado de las evaluaciones realizadas en las variedades comerciales cultivadas en el sector azucarero colombiano dejó en evidencia la presencia sólo de la roya café (*P. melanocephala*).

## Conclusiones

- Todas las variedades seleccionadas por Cenicaña y entregadas a los cultivadores son resistentes a la roya café.
- El agente causal de la roya café pertenece a una familia de hongos que se caracteriza por su mutación frecuente y la generación de nuevas razas patogénicas.
- Las altas precipitaciones y las temperaturas elevadas ocasionan un incremento de la humedad relativa del aire que favorece la infección del patógeno.
- En los cuatro últimos años (2007-2010) se observó infección por roya café en variedades comerciales resistentes que anteriormente no la presentaban.
- Todas las variedades de uso comercial en el sector azucarero colombiano se siguen comportando como resistentes pese a la variación del patógeno.
- La infección por roya café y el comportamiento de las variedades comerciales frente a la enfermedad no justifican la aplicación de fungicidas para su control.

## Referencias bibliográficas

- Purdy, L.H. y Dean J.L. 1980. Un sistema para registrar los datos sobre las interacciones entre la roya de la caña de azúcar y el hospedero. p.177-180. En: Seminario Interamericano de la Caña de Azúcar, 1. Enfermedades de la caña de azúcar. Memorias. Miami. 8-10 octubre, 1980. Vanguard, Miami.
- Ryan, C.C. y Egan, B.T. 1989. Rust. p.189-210. En: Ricaud, C.; Egan, B.T.; Gillaspie, A.G. y Hughes, C.G. (eds.). Diseases of sugarcane, major diseases. Elsevier Science publisher B.V., Amsterdam, The Netherlands. 399 p.
- Victoria, J.I.; Ochoa B.; O. y Gómez, J. 1984. La roya de la caña de azúcar en el Valle del Cauca: diseminación y efecto en la producción. V.1, p.209-218. En: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 1. Memorias. Cali, Colombia. 28-30 noviembre, 1984. Tecnicaña.
- Victoria Kafure, J.; Moreno Gil, C.A. y Cassalet Dávila, C. 1989. *Genotype-environment interaction and its effect on sugarcane rust incidence*. P.723-730. En: Congress of the International Society of Sugarcane Technologists, 20. Proceedings. Sao Paulo, Brasil. October 12-21, 1989. ISSCT, Sao Paulo, Brasil.
- Victoria, J.I.; Guzmán, M.L. y Ángel, J.C. 1995. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. p. 265-293. En: Cassalet, C.; Torres J. e Isaacs, C. (eds.). El Cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cenicaña, Cali, Colombia. 412 p.

# Descripción de productos basados en la biomasa como valor agregado en la cadena agroindustrial de la caña de azúcar

Jesús Eliécer Larrahondo Aguilar; Edgar F. Castillo M.

## Introducción

La biomasa es todo aquel material de origen biológico que puede ser utilizado como fuente de energía o cuyos componentes químicos pueden ser aprovechados en sí mismos o en forma de productos de valor agregado mediante procesos de separación, purificación o transformación.

El interés en el aprovechamiento de la biomasa es creciente y los retos en materia de sostenibilidad de las iniciativas al respecto involucran a la sociedad en general. Los cultivos energéticos y los materiales residuales de origen forestal, agrícola, ganadero y urbano son las fuentes de biomasa más utilizadas actualmente a escala experimental, industrial y comercial.

La caña de azúcar es una planta de alta producción de biomasa, muy eficiente desde el punto de vista energético y con cualidades químicas que ofrecen oportunidades de desarrollo agroindustrial en productos de valor agregado con mercados actuales y potenciales identificados.

En este artículo se ofrece un marco general de referencia acerca del desarrollo tecnológico y comercial de algunos productos de la biomasa que muestran oportunidades para agregar valor en la cadena agroindustrial de la caña de azúcar, con énfasis en aquellos de interés mundial como los *commodities* químicos, productos especializados, de química fina, nutracéuticos y biopolímeros.

## Generalidades

La obtención de derivados de la biomasa es un asunto de interés comercial con antecedentes que datan de la segunda década del siglo pasado, antes de 1920, cuando se producían alcoholes y un gran número de productos químicos a partir de madera y de granos.

Ochenta años después, a principios de la década del 2000, el valor económico de mercado de los productos de la biomasa superaba los 400 billones de dólares (US\$) (Energetics Inc., 2003). Este valor se refiere principalmente a compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, productos farmacéuticos, jabones y detergentes, papeles, combustibles, lubricantes, adhesivos, grasas y pinturas.

Según información del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2008) la producción mundial de *commodities* químicos representa más de tres millones de toneladas al año. Los productos especializados de química fina también suman grandes volúmenes, en los que se cuenta el valor de enzimas, saborizantes, fragancias, polímeros y productos de uso farmacéutico. Las proyecciones de mercado de productos de la biomasa en el sector químico se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Proyecciones de mercado de productos basados en la biomasa en el sector químico.

Fuente: Bachmann, 2003; Cygnus Business Consulting & Research, 2004; Informa Economics, Michigan Biotechnology Institute, 2006. En: USDA, 2008.

Productos de la biomasa en el sector químico	Penetración de mercado (%)	
	Año 2010	Año 2025
<i>Commodities</i>	1-2	6-10
Especializados	20-25	45-50
Química fina	20-25	45-50
Polímeros	5-10	10-20

\* Químico, Ph.D., Químico Jefe de Cenicaña hasta diciembre de 2010; Ingeniero Químico, Ph.D., Director del Programa de Procesos de Fábrica de Cenicaña hasta septiembre de 2010.

De acuerdo con la información disponible, se prevé un incremento significativo de penetración en el mercado del sector químico de los productos especializados y de química fina basados en la biomasa entre 2010 y 2025, de 25% hasta 50%.

Los valores previstos de producción en el sector químico y la participación de los productos basados en la biomasa se muestran en el Cuadro 2. En general se estima que la producción de productos químicos derivados de la biomasa alcanzará entre US\$483 billones y US\$614 billones en el 2025.

En la Figura 1 se muestra el tamaño del mercado mundial en 2004 y 2009 para cinco categorías de productos obtenidos por métodos biológicos de fermentación: antibióticos crudos, ácidos orgánicos, aminoácidos, enzimas y vitaminas. Vale anotar que de estos productos sólo los ácidos orgánicos se han visto enfrentados con productos basados en insumos petroquímicos en procesos comerciales competitivos. Se estima que en 2011 el 20% del mercado químico estará conformado por productos de la biomasa, con una creación de valor de 160 billones de dólares.

Las aplicaciones de biotecnología e ingeniería de muchos componentes tienen un gran potencial de desarrollo e innovación tecnológica en los procesos de bioproducción, desde la obtención de *commodities* sencillos, como los ácidos orgánicos, hasta la elaboración de estructuras más complejas como antibióticos beta-lactamos y vitaminas.

El empleo de la biotecnología tiene un potencial de participación de 50% en la creación de valor económico de productos de segmentos químicos, en razón de incrementos en la tasa de retorno dados por la reducción de costos como consecuencia del mejoramiento de los procesos (Cuadro 3).



Figura 1. Mercado global por categoría para productos de fermentación. Años 2004 y 2009.

Fuente: Business Commun. Consult., 2005. En: USDA, 2008.

Cuadro 3. Impacto estimado de la biotecnología en los costos de producción del sector químico y retorno económico (creación de valor).

Fuente: Bachmann, 2003; Informa Economics, Michigan Biotechnology Institute, 2006. En: USDA, 2008.

Productos del sector químico	Impacto de las inversiones en biotecnología (%)	
	Reducción de costos	Retorno o creación de valor
Química fina	35	65
Polímeros	40	60
Productos masivos	75	25

Cuadro 2. Proyecciones acerca del valor de la producción total en el sector químico y la participación de los productos basados en la biomasa (billones de dólares, US\$).

Fuente: Bachmann, 2005; Cygnus Business Consulting & Research, 2004; Informa Economics, Michigan Biotechnology Institute, 2006. En: USDA, 2008.

Productos del sector químico	Proyecciones de producción del sector químico (billones de US\$)			
	Año 2010		Año 2025	
	Producción total	Producción a partir de biomasa	Producción total	Producción a partir de biomasa
<i>Commodities</i>	550	5-11	857	50-86
Especializados	435	87-110	679	300-340
Química fina	125	25-32	195	88-98
Polímeros	290	15-30	452	45-90
<b>Total</b>	<b>1400</b>	<b>132-183</b>	<b>2183</b>	<b>483-614</b>

La producción mundial de *commodities* químicos basados en la biomasa representa más de tres millones de toneladas al año. Los productos especializados de química fina también suman grandes volúmenes, en los que se cuenta el valor de enzimas, saborizantes, fragancias, polímeros y productos de uso farmacéutico.

Los costos de capital y de energía también son factores económicos importantes en las iniciativas de integración de los procesos de aprovechamiento de la biomasa.

Así, por ejemplo, en el caso de los *commodities* químicos (que tienen un precio corriente en el mercado inferior a US\$1/kg) el precio del producto está afectado principalmente por el costo de la materia prima, que incluye el valor de la energía necesaria para la producción de la biomasa y su recolección, y el valor de la tierra.

En la elaboración de productos químicos especializados, que pueden tener un precio de mercado entre US\$2-5/kg, se suman los costos de los procesos de recuperación, incluidos los energéticos, que con frecuencia son superiores al precio del producto final.

## Commodities químicos

Se estima que la producción mundial de este tipo de bio-productos alcanza un volumen superior a 3 millones de t/año, con un precio unitario de mercado inferior a US\$1/kg. En el grupo de los *commodities* se encuentran los solventes y algunos ácidos orgánicos.

### Solventes

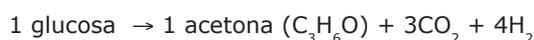
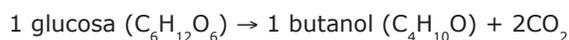
La acetona, el butanol y el etanol son productos obtenidos mediante procesos fermentativos.

Entre 1945 y 1960 el 66% del n-butanol (>45 millones de libras en volumen) y el 10% de la acetona se producían por fermentación de mieles y almidones; no obstante, los bajos precios de los insumos petroquímicos en 1950 hicieron que la producción de dichos solventes mediante fermentación fuera poco atractiva, lo cual condujo en 1952 al cierre de las plantas de producción basadas en esos procesos.

Hoy en día, con el alza de los precios en el sector petroquímico, la producción de *commodities* químicos y otros compuestos mediante procesos biotecnológicos se ha vuelto una opción viable desde el punto de vista económico (USDA, 2008).

Durante la producción biológica de los procesos fermentativos se obtiene acetona, butanol y etanol en una relación aproximada de 3:5:1.

La estequiometría de las reacciones de formación de estos solventes a partir de glucosa se muestra a continuación:



También, por la siguiente reacción, se puede obtener ácido butírico:



Este proceso de fermentación es anaeróbico y produce bióxido de carbono e hidrógeno.

En los últimos tiempos, mediante herramientas biológicas modernas se han mejorado progresivamente los procesos fermentativos de producción de solventes de uso comercial. Una nueva cepa de *Clostridium beijerinckii* observada a escala experimental ha llegado a producir un total de 165 g/L de solventes como acetona, butanol y etanol.

La lactosa también se ha constituido en alternativa de la glucosa para producir 100 g/L de solventes, con rendimiento molar global de 0.44 (valor considerado aceptable). Con ajustes en el proceso fermentativo se pueden obtener 77 g/L de acetona y 152 g/L de butanol, con muy baja producción de etanol (3 g/L) y de ácidos orgánicos (8 g/L). Otros solventes de interés comercial tales como xileno, tolueno y cloruro de metileno están siendo reemplazados por solventes obtenidos a partir de la biomasa.

### Ácido láctico

El ácido láctico se produce en la fermentación de la lactosa que ocurre por la acción de especies de bacillus y otros microorganismos como *Lactobacillus delbrueckii* y *L. bulgaricus* cuando éstos actúan en sustratos ricos en lactosa, glucosa (almidones del maíz) y otros azúcares provenientes de procesos agroindustriales. La fermentación ocurre a >40 °C y pH <4.5.

El ácido láctico se emplea como acidulante y preservante en la industria de alimentos y su consumo mundial alcanza un volumen de 72 millones de libras al año (Energetics Inc., 2003). Recientemente la compañía multinacional Cargill patentó en los Estados Unidos de América la fermentación de glucosa para producir ácido láctico en un cultivo. El registro se refiere a "un proceso homoláctico mediante una bacteria ácido-tolerante" capaz de crecer a pH 3.8 en presencia de 1000 g/L de glucosa para producir cerca de 100 g/L de ácido láctico.

Adicionalmente, una cepa de *Escherichia coli* fue modificada para producir el isómero D-(-)-ácido láctico que puede crecer en cantidades mínimas de sales y glucosa en condiciones tanto aeróbicas como anaeróbicas, con una conversión excelente de glucosa a ácido D-láctico (Zhou *et al.*, 2003).

### Ácido glutámico

El ácido glutámico es un aminoácido no esencial para los humanos y el más abundante en los alimentos. Se produce principalmente mediante fermentación utilizando el microorganismo *Corynebacterium*, aunque también existen patentes que mencionan el empleo de *Brevibacterium*. La mayoría del ácido glutámico se destina a la producción de glutamato monosódico, un agente saborizante; también se usa en el sector farmacéutico, en la preparación de soluciones oftálmicas y nasales y en la elaboración de surfactantes. La demanda mundial de glutamato monosódico es de 1.1 millones de toneladas anuales. Los mayores productores son Ajinomoto, Kyowa Hakko y CJ Corporation (USDA, 2008).

## Lisina

La lisina es un aminoácido esencial para los seres humanos y los animales pero no se produce en las cantidades suficientes para suplir las necesidades nutricionales de éstos.

La lisina puede ser sintetizada químicamente con un costo 1.5 veces más alto respecto a la fermentación a partir de los azúcares o carbohidratos. Podría ser empleada en la producción de caprolactama, un monómero utilizado en la producción de poliamida-6 (Nylon 6) que se emplea en la elaboración de fibras artificiales y en materiales para la industria electrónica.

El mercado mundial de lisina (grado alimenticio) excede el billón de dólares al año, según datos de Monsanto Co. Las firmas Ajinomoto y Archer Daniels Midland tienen el 25% y el 22% del mercado, respectivamente. Otros productores son Degussa y CJ Corp. Desde el año 2002 el precio de mercado de la lisina ha sido muy volátil, entre US\$1.20-3.0/kg. Se espera que a partir de 2009 se incremente el mercado de los aminoácidos en las aplicaciones de síntesis para otros productos, con valores entre US\$713 millones y US\$1 billón (USDA, 2008).

## Ácido succínico

El volumen comercial de ácido succínico como producto final es pequeño. Este producto se utiliza en la industria de alimentos como acidulante y en la industria farmacéutica en formulaciones específicas.

Así mismo, el ácido succínico es un intermediario que se requiere en la síntesis de varios productos a partir del anhídrido maleico que resulta del butano separado del gas natural y del *cracking* del petróleo. Un gran número de productos de importancia comercial resultan del ácido succínico, entre ellos el tetrahidrofurano (THF) y el 1,4-butanediol (BDO). Este último, junto con el ácido succínico y el politetrametilenglicol (PTMG) resultante de la polimerización del THF, pueden dar origen a diferentes poliésteres, que son la base de los poliuretanos.

Actualmente existen varias tecnologías emergentes para obtener ácido succínico a partir de azúcares sencillos como la glucosa y la xilosa (pentosa), que tienen como fuente la biomasa.

En la Figura 2 se muestra un esquema simplificado de las rutas metabólicas para la producción del ácido succínico, en asociación con otros productos basados en la biomasa (por ejemplo, etanol, ácido láctico y ácido fumárico).

Puede observarse que el consumo de azúcares de cinco carbonos (las pentosas xilosa y arabinosa de la fracción de hemicelulosa) y seis carbonos (hexosas como glucosa, provenientes de la caña de azúcar) pasa a través de un intermediario común: el fosfato enol piruvato (PEP). Aun así muy pocos microorganismos producen el ácido succínico en concentraciones suficientemente altas para que su extracción sea de interés económico.

Una revisión de patentes en la literatura revela que tres organismos estudiados basados en *E. coli*: AT EC 202021, Donnelly, *Anaerobiospirillum succiniciproducens* y *Actinobacillus succinogenes* (A TCC 55618, Guettler), han sido utilizados para producir ácido succínico.

*A. succinogenes* es el único de estos microorganismos que tiene la habilidad de utilizar simultáneamente hexosas y pentosas para la producción de ácido succínico a partir de materiales lignocelulósicos.

## Propanodiol y ácido hidroxipropiónico

Igual que el ácido láctico, el 1,2-propanodiol (propilenglicol) es utilizado en la síntesis de diferentes productos, tales como poliésteres insaturados, detergentes, cosméticos y anticongelantes.

Otro isómero del propilenglicol es el 1,3-propanodiol (1,3-PDO), el cual es difícil de obtener a partir de insumos petroquímicos. Genencor y DuPont tienen el registro de patente de una tecnología emergente que emplea *E. coli* modificada genéticamente (Emptage *et al.*, 2005).

El ácido 3-hidroxipropiónico constituye una plataforma química a partir de la cual se generan productos químicos de gran valor, tales como el 1,3-propanodiol, el ácido malónico, el ácido acrílico y la acrilamida.

Cargill desarrolló un proceso para el ácido 3-hidroxipropiónico a partir de la glucosa, necesario para la elaboración del ácido acrílico, bioproducto con un mercado estimado de US\$950 millones al año.

Los mayores productores del ácido acrílico utilizado en la síntesis de polímeros son Rohm & Haas, BASF y Dow Chemical.

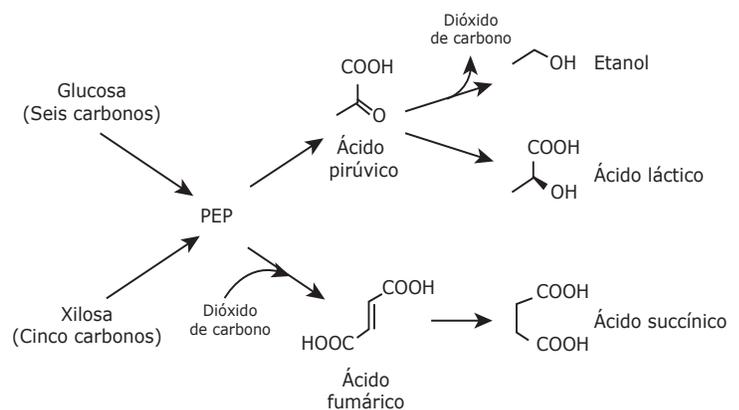


Figura 2. Procesos bioquímicos para la producción de etanol, ácido láctico y ácido succínico a partir del fosfo-enol piruvato (PEP).

Fuente: USDA, 2008.

## Productos especializados o química fina

Los productos de química fina son un grupo de compuestos orgánicos de elevada pureza, entre los que se incluyen productos farmacéuticos, enzimas, vitaminas, sabores, fragancias y materiales de uso energético que se sirven de técnicas y actividades especializadas para entornos diferentes.

Estos productos se obtienen a partir de otros básicos o intermedios y se caracterizan porque el proceso de bioproducción es por *batches* (lotes o tandas); el volumen de producción mundial es muy bajo (algunas decenas de toneladas al año) y el valor agregado, alto.

Se estima que el mercado de los biofármacos es de US\$70.8 millones. Se espera que en 2011 el 17% de los productos farmacéuticos sean biofármacos.

Keneka Corporation desarrolló un proceso de producción del antibiótico amoxicilina utilizando enzimas termoestables.

También se ha registrado que el ácido shikímico, presente en diferentes fuentes vegetales, es un producto estratégico para la producción del oseltamivir, el cual tiene un amplio mercado para el control y tratamiento de la gripa aviar.

La compañía Frost and Knop tiene desde 2003 la patente de un proceso para la producción de ácido shikímico a partir de glucosa (vía fermentativa). El mercado anual del producto se estima en un billón de dólares.

Las proteínas para uso terapéutico tuvieron un mercado de US\$37 billones en el 2003, que podría crecer hasta US\$90 billones en 2011 (USDA, 2008).

Una línea tecnológica de gran importancia en la química fina es la producción y el empleo de enzimas. Las enzimas tienen muchas aplicaciones como biocatalizadores, pero su costo alto es un factor limitante.

El mercado global de las enzimas de uso industrial fue de US\$3.7 billones en el 2004 y se esperaba un crecimiento de 6.5% en 2009-2010 (USDA, 2008).

Las compañías Genencor y Novozymes están comprometidas en programas para reducir los costos de las enzimas. Se encuentra en fase de desarrollo un proceso de conversión de celulosa en un sustrato rico en glucosa monomérica para la producción de celulasa, enzima clave en la degradación de materiales celulósicos. Los nichos principales de mercado y las aplicaciones de las diferentes clases de enzimas industriales se resumen en el Cuadro 4.

Las vitaminas constituyen otra clase de productos de química fina. La mayoría se produce por síntesis química, aunque se vienen desarrollando tecnologías basadas en la fermentación. La compañía BASF desarrolló un proceso a partir de aceites vegetales para la producción de la vitamina B2, mediante el empleo del hongo *Ashbya gossypil*. Para 2010 se esperaba un incremento del mercado global de vitaminas de US\$1.27 billones. El ácido ascórbico (vitamina C) tiene un mercado anual de 100 millones de kilogramos.

Cuadro 4. Enzimas de uso industrial según aplicaciones y nichos de mercado.

Fuente: Informa Economics, Michigan Biotechnology Institute, 2006. En: USDA, 2008.

Nichos de mercado	Aplicación	Enzimas
Procesamiento de alimentos	Hornear	Amilasa, proteasa
	Desarrollo del sabor	Lipasa
	Queso	Proteasa
	Clarificación de jugo de fruta	Pectinasa
	Cereales	Amilasa
	Cervecera	Amilasa, glucomilasa
	Eliminación de oxígeno	Glucosa oxidosa
	Carne	Proteasa
Procesamiento de granos	Jarabe de maíz	Amilasa, glucosa isomerasa
Textiles	Textura de piedra lavada	Celulasa
Cuero	-	Proteasa
Alimento	Mejora de la digestibilidad en alimentación de animales	Pitasa, xilanasa, celulasa
Detergentes	Mejora de la limpieza	Proteasa
	Soluble en frío del almidón de lavandería	Amilasa
Pulpa y papel	Kraft blanqueado	Xilanasa
	Modificación de almidón para papel	Amilasa
	Reciclado ( <i>deinking</i> )	Celulasa, hemicelulasa

El mercado de saborizantes y fragancias es gobernado por Estados Unidos, Europa occidental y Japón. En 2003 el valor de mercado fue igual a US\$16.3 billones y para 2010 se esperaba una cifra de US\$19.0 billones (US\$4.4 billones de empresas estadounidenses).

Actualmente se están desarrollando tecnologías para producir ácido vanílico a partir de glucosa por medio de un proceso microbiano; dicho saborizante tiene un mercado anual de 12 millones de kilogramos, el segundo después del aspartame.

Otro producto de interés es el 1,2,4-butanotriol (BT), poliol que puede ser nitrado para producir el 1,2,4-butanotriol trinitrato (BTTN), compuesto acerca del cual se tienen estudios que sugieren su uso en reemplazo de la nitroglicerina que se aplica como vasodilatador en el tratamiento de la angina de pecho, con cualidades que lo hacen menos volátil que la nitroglicerina y más estable desde el punto de vista térmico.

John Frost (USDA, 2008) desarrolló una tecnología basada en catálisis microbiana y/o enzimática para la producción del BT a partir de carbohidratos como las pentosas presentes en materiales hemicelulósicos, como el bagazo de la caña de azúcar.

## Biopolímeros, otros productos químicos especializados y nutracéuticos

Productos químicos como el ácido gálico y el pirogalol son excelentes candidatas para la síntesis de otros productos de gran importancia en diferentes asuntos, incluida la salud humana.

Entre los antioxidantes se cuenta el ácido gálico, con una producción anual de 170 mil kilogramos; existen tecnologías emergentes para su producción a partir de residuos agrícolas mediante el empleo de cepas recombinantes de *E. coli* (Frost, 2002).

Otros productos estratégicos, especialmente para la producción de polímeros, tensoactivos, adhesivos y alimentos son los polioles como el sorbitol, el manitol y el xilitol, compuestos que tienen como sustratos (o insumos) azúcares como la glucosa, la manosa y la xilosa. En 2004 se produjeron 690 mil toneladas de dichos polioles, por valor de US\$500 millones (SRI Consulting, 2005); sólo el manitol, edulcorante bajo en calorías, aportó US\$100 millones al mercado.

En Australia, en tejido foliar de caña de azúcar (hojas de líneas transgénicas) se encontraron niveles medios de sorbitol equivalentes a 120 mg/g, valor que representó el 61% de los azúcares solubles (SRI Consulting, 2005).

En el Cuadro 5 se relacionan los nombres de algunos productores de biopolímeros. En el Cuadro 6 se describen algunos biopolímeros de importancia comercial y sus usos. Entre los productos de mayor valor y aplicación comercial se cuentan el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxialcanoatos (PHA).

Cuadro 5. Algunos productores de biopolímeros.

Adaptado de USDA, 2008.

Polímeros	Productor, país
Almidones	Novamont, Italia Biop, Alemania Corn Starch, Japón
Ácido poliláctico (PLA)	Cargill, USA Toyota, Japón Hycail, Suecia
Polihidroxialcanoatos (PHA)	Metabolix, USA Mitsubishi, Japón PHB Industrial, Brasil
Polímeros de celulosa	Lenzing e Eastman, USA Ajinomoto, Japón

Cuadro 6. Descripción de algunos polímeros obtenidos de la biomasa y que se encuentran en estado de desarrollo comercial.

Adaptado de USDA, 2008.

Polímero	Tipo	Monómero	Fuente de biomasa	Uso en la industria
Almidones	Polis	Glucosa	Maíz, papa	Alimentos, textiles, adhesivos, papel, farmacéutica, empaques.
Celulosa	Polis	Glucosa	Maíz, papa	Empaques
Ácido poliláctico (PLA)	Poliéster	Acido láctico	Maíz	Empaques, textiles
Polihidroxialcanoatos (PHA)	Poliéster	Glucosa	Maíz, papa	Empaques, textiles, espumas
Polietilenglicol	Poliuretano	Glucosa Glicerol	Maíz	Sustituto del poliéster
Polioles	Poliuretano	Triglicéridos	Soya	Películas, fibras
Polímeros basados en almidones	Termoplásticos	Glucosa + productos petroquímicos	Maíz	Espumas, empaques

El PLA es un producto derivado del ácido láctico, con propiedades muy similares al polietileno y reconocido por ser biodegradable. Las proyecciones de la demanda al 2020 ascienden a 3.6 millones de toneladas, con precios competitivos por libra entre US\$0.75–1.50.

Por su parte, los PHA, que compiten bien con muchos plásticos, fueron comercializados en 1990 por Zeneca y Monsanto, con costos de producción muy superiores respecto a los plásticos derivados del petróleo. Metabolix adquirió la tecnología de Monsanto en el año 2001 y empezó la producción de PHA con base en fermentaciones de azúcares del maíz, para una producción de 907 toneladas en 2006 a un precio de US\$1.5/libra.

En Australia, en tejido foliar de 26 líneas transgénicas de caña de azúcar se obtuvieron resultados positivos de producción de PHA, particularmente de polihidroxibutiratos (PHB) (SRI Consulting, 2005).

Los nutraceuticos son otros productos con gran potencial de obtención a partir de la biomasa de origen vegetal o agrícola; una visión histórica de éstos se presenta en el Cuadro 7.

El término nutraceutico fue acuñado en 1980 para denominar aquellos “alimentos funcionales” o “fármacos alimentos” y en 1994 se adoptó para referirse a “cualquier producto o ingrediente alimenticio que pueda beneficiar la salud más allá de los nutrientes tradicionales que contienen los alimentos”. Los minerales, los nutrientes, las vitaminas y los extractos vegetales son las categorías superiores de este tipo de productos. En el año 2000, más de 85 fabricantes de nutraceuticos en los Estados Unidos alcanzaron ventas de US\$939 millones.

Cuadro 7. Visión histórica de los productos nutraceuticos.

Fuente: Mertens, 2000. [En](#): USDA, 2008.

Período	Concepto de salud para el cambio	Efecto sobre el atributo o clase de producto
1950 - 1960	Refinado	Fibra
1970	Verde y orgánico	Ingredientes naturales libres de pesticidas
1980	Bajo ( <i>Lite</i> )	Consumo de calorías grasas/azúcar, colesterol
1990	Nutraceutico	Fibra dietética. Oligosacáridos. Ácidos poliinsaturados. Vitaminas/minerales. Peptidos.
Hasta 2010	Alimentos. Lucha contra enfermedades.	Plantas genéticamente modificadas. Prevención de enfermedades.

En relación con las especies vegetales, las mayores ventas se registran en ajo (*Allium sativum*), ginkgo biloba, ginseng, spirulina (microalga rica en el ácido gamma-linoleico, vitamina B12 y vitamina E), *Hypericum perforatum* y plantas del género *Echinacea*.

Los agentes antioxidantes como los flavonoides y edulcorantes bajos en calorías, basados en azúcares como la xilosa y la galactosa, entre otros, son considerados productos emergentes de gran valor agregado en el aprovechamiento de la biomasa, en particular de caña de azúcar (USDA, 2008).

## Proyecciones para productos químicos y materiales basados en biomasa

Algunos productos químicos con valor agregado obtenidos de la biomasa y su estado de desarrollo tecnológico se relacionan en el Cuadro 8. En 2004, el Departamento de Energía de los Estados Unidos (U.S. DOE) identificó doce clases de productos que se podrían obtener de los azúcares por medio de métodos químicos y biológicos.

El glicerol es un subproducto de la industria del biodiésel, con derivados potenciales como el ácido glicérico, el 1,3-propanodiol y el propilenglicol que se usa para la producción de poliésteres. La producción de glicerol en 2004 alcanzó el valor de un millón de toneladas; el mercado de los poliésteres asciende a 2-3 billones de libras por año, con precio de US\$1.0–3.5 por libra. No obstante, existen barreras técnicas asociadas con el mejor aprovechamiento de la biomasa, como la oxidación selectiva y la tecnología de hidrogenólisis.

Cuadro 8. Algunos productos químicos de valor agregado derivados de la biomasa y su estado de base tecnológica.

Adaptado de U.S. Department of Energy, 2004. [En](#): USDA, 2008.

Producto químico	Estado de base tecnológica. Estado plataforma química.
1,4 diácidos	Comercial. En desarrollo.
3-hidrocipropiónico	En desarrollo. En desarrollo
Ácido levulínico	Comercial. En desarrollo
Ácido glutámico	Comercial. Investigación detallada.
Sorbitol	Comercial. Investigación detallada.
Xilitol	Comercial. Investigación detallada.
Glicerol	Comercial. Investigación preliminar.
Ácido aspártico	Inv. detallada. Inv. preliminar.
Ácido glucárico	Inv. detallada. Inv. preliminar.
Ácido itacónico (Ácido tilsuccínico)	Comercial. Investigación preliminar.

En relación con otros compuestos, en 2003-2004 se incrementó la producción de BDO (1,4-butanodiol) de 850 millones de libras a 900 millones. En cuanto al sorbitol se observa que su obtención a partir de la glucosa está bien desarrollada mediante catálisis con ruthemium (Ru); el sorbitol como copolímero es útil en la producción del polietileno isosorbida tereftalato. El xilitol, que tiene un mercado similar al del sorbitol, tiene grandes perspectivas para ser utilizado como copolímero en la producción de poliésteres insaturados.

De acuerdo con el USDA (2008) se estima que la demanda de algunos ácidos orgánicos, entre ellos el aspártico, y su producción, podrían aumentar entre 2-3% por año.

Las proyecciones con el ácido itacónico, que podría competir con el metil metacrilato en la producción de polímeros, representan un mercado por encima del billón de dólares por año.

Por su parte, la tecnología para la producción de ácido itacónico por fermentación de la glucosa y la sacarosa se encuentra en fase preliminar de investigación y desarrollo.

El mercado y la demanda de los antioxidantes son crecientes, como se había mencionado antes. El ácido gálico —insumo importante para la producción de antioxidantes— puede producirse por fermentación a partir de la biomasa (rica en carbohidratos) utilizando una *E. coli* recombinante; su mercado está alrededor de los 170 mil kilogramos por año (Ibid, 2008).

En la Figura 3 se muestra el esquema de una biorrefinería conceptual con referencia a los productos intermedios y finales obtenidos mediante operaciones de molienda y procesos de conversión bioquímica y termoquímica de materias primas agrícolas, en este caso maíz y tusa de mazorca.

Como se puede observar, las oportunidades para la evolución de los mercados de productos derivados de la biomasa a través de la integración tecnológica son múltiples.

Con la producción de biocombustibles como bioetanol o biodiésel se generan nuevos residuos o insumos que pueden reemplazar la plataforma petroquímica, lo cual debe contribuir a reducir los costos asociados en la economía mundial.

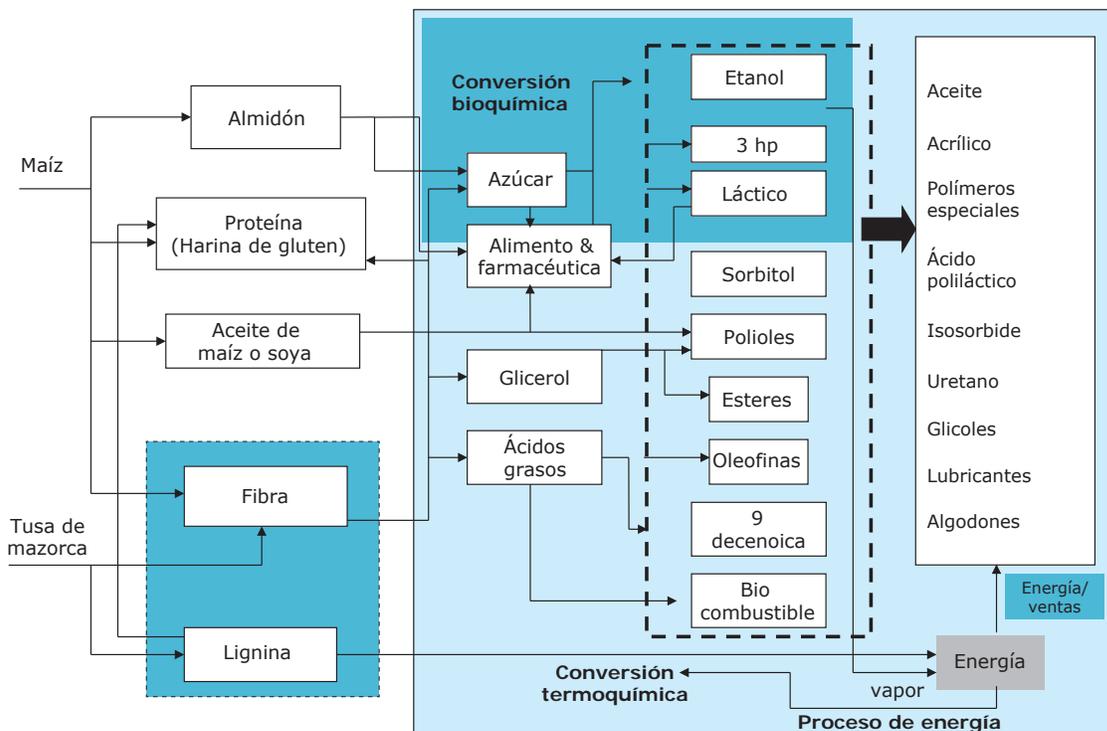


Figura 3. Biorrefinería conceptual con base en productos de biomasa agrícola de origen vegetal utilizados como fuente de materia prima. Productos intermedios y finales obtenidos mediante operaciones de molienda y conversión bioquímica y termoquímica.

Fuente: Informa Economics, Michigan Biotechnology Institute, 2006. En: USDA, 2008.

## Conclusiones generales

- Se prevé un incremento significativo de penetración en el mercado del sector químico de los productos especializados y de química fina basados en la biomasa entre 2010 y 2025, de 25% hasta 50%.
- En general se estima que la producción de productos químicos derivados de la biomasa (bioproductos) alcanzará entre US\$483 billones y US\$614 billones en el 2025.
- La demanda de antioxidantes es creciente. El mercado anual de ácido gálico es de 170 mil kilogramos y puede producirse a partir de la biomasa.
- La caña de azúcar ofrece grandes perspectivas como fuente de biomasa para la producción de metabolitos de interés industrial en el sector farmacéutico.
- El desarrollo productivo con énfasis en el concepto de biofábrica (empleo de la biotecnología aplicada para el biocomercio) ofrece grandes oportunidades económicas en cultivos como la caña de azúcar, como lo reconoce Australia en su plan de desarrollo.
- Investigaciones en Australia señalan resultados positivos en producción de biopolímeros (polihidroxibutiratos, PHB) y polioles (sorbitol) en variedades transgénicas de caña de azúcar, lo cual indica oportunidades de desarrollo agroindustrial y económico en el sector azucarero.
- La selección de variedades de caña de azúcar productoras de ceras y agentes antioxidantes para su empleo en el sector farmacéutico merece atención especial desde el punto de vista técnico-económico en el corto plazo.

## Referencias bibliográficas

- Bachmann, R. 2003. Industrial Biotech-New Value Creation Opportunities. Conference Proceedings, BIO Third Wave: Analyst Briefing on Industrial Biotechnology, New York.
- Bachmann, R. 2005. Making the Bio-Based Economy Happen. Presented at the Renewable Resources and Biorefineries Conference, Ghent, Belgium.
- Business Communications Company. 2005. Worldwide Markets for Fermentation Ingredients. Report RGA-103R. Accessed August 1, 2006. <http://www.bccresearch.com/editors/RGA-103R>
- Cygnus Business Consulting & Research. 2004. Industry Insight Report: Global Chemicals.
- Emptage, M., S., Haynie, L. Laffend, J. Pucchi, G. Whited, 2005. Process for the biological production of 1,3-propanediol with high titer. European patent application EP 1586647.
- Energetics Inc., 2003. Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow. U. S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of the Biomass Program, Washington, D. C.
- Frost, 2002. Biocatalytic Synthesis of Galloid Organics. U. S. Patent 647190.
- Informa Economics, Michigan Biotechnology Institute, The Windmill Group. 2006. "The Emerging Biobased Economy", Multi-Client Study. March.
- Mertens, G. 2000. "From Quackery to Credibility: Unconventional Healthcare in the Era of High-tech Medicine". Financial Times Healthcare, London. 2000.
- SRI Consulting. 2005. Chemical Economics Hand Book Report: Sorbitol, Agosto 6.
- USDA, 2008. U.S. Biobased Products: Market Potential and Projections Through 2025. pp 293.
- U.S. Department of Energy. 2004. Top Value Added Chemicals from Biomass Vol. 1: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas. T. Werpy and G. Petersen, (eds.).
- Zhou, S.; Causey, T. B.; Hasona, A.; Shanmugam, K. T.; Ingram, L.O. 2003. Production of Optical Pure D-Lactic Acid in Mineral Salts Medium by Metabolically Engineered *Escherichia coli* W 3110. Appl. Environ. Microbiol. 69:399-407.

## Más artículos en la versión electrónica

**Edición digital** aumentada, disponible en  
[www.cenicana.org/publicaciones/index.php](http://www.cenicana.org/publicaciones/index.php)

*Carta Trimestral*  
ISSN 0121-0327  
Año 32, Nos. 3 y 4 de 2010

- **Efecto del clima sobre la productividad en la agroindustria azucarera colombiana**

*Alberto Palma Zamora*. Matemático, M.Sc., Biometrista de Cenicaña <aepalma@cenicana.org>

El autor presenta el modo de aproximación matemática que utilizó para cuantificar el efecto de las principales variables atmosféricas en relación con el tonelaje de caña y el rendimiento en azúcar. Describe el diseño estadístico de los modelos considerados para el análisis y propone, finalmente, un modelo de regresión para cada variable de productividad.

- **Parasitoides, predadores y entomopatógenos que afectan las plagas de la caña de azúcar en Colombia**

*Alex Enrique Bustillo Pardey*. Ing. Agrónomo, Ph.D., Entomólogo de Cenicaña <aebustillo@cenicana.org>

Trabajo de compilación documental acerca de los organismos descritos como agentes benéficos para el control de las plagas que afectan el cultivo de la caña de azúcar en Colombia. Este inventario, ordenado e ilustrado con fotografías, muestra la diversidad de la fauna benéfica en las zonas azucareras y refuerza la importancia de mantener el equilibrio ambiental en los ecosistemas del cultivo de la caña azucarera.

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

*Una organización comprometida con la excelencia en investigación y servicios.  
Entidad sin ánimo de lucro fundada en 1977 y financiada principalmente con donaciones  
directas de los ingenios azucareros y los productores de caña de azúcar  
localizados en el valle geográfico del río Cauca.*

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

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

<[www.cenicana.org/servicios/diagnostico\\_enfermedades.php](http://www.cenicana.org/servicios/diagnostico_enfermedades.php)>

Importación de variedades: Jorge I. Victoria, ext.5127 <[jjvictoria@cenicana.org](mailto:jjvictoria@cenicana.org)>

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

Laboratorio de Química en la Estación Experimental, ext.5149

<[www.cenicana.org/servicios/analisis\\_suelo.php](http://www.cenicana.org/servicios/analisis_suelo.php)>

Sistema experto de fertilización, SEF v.2009

<[www.cenicana.org/aeps/sef.php](http://www.cenicana.org/aeps/sef.php)>

► **Preguntas frecuentes y consultorio tecnológico**

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

<[www.cenicana.org/banco\\_preguntas/index.php](http://www.cenicana.org/banco_preguntas/index.php)>

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

Grupo de Respuesta al Cliente, ext.5179 ó 5133

<[www.cenicana.org/grc/index.php](http://www.cenicana.org/grc/index.php)>



Si usted es donante de Cenicaña y quiere registrarse para obtener los servicios de información disponibles en nuestro sitio web, comuníquese con nosotros o visítenos en la Estación Experimental.

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

<[www.cenicana.org/hoja\\_registro\\_pag.php](http://www.cenicana.org/hoja_registro_pag.php)>

## Apreciado lector...

Si cambia de dirección postal o de dirección electrónica, por favor, infórmenos. Sólo así podrá continuar recibiendo nuestras publicaciones impresas y nuestros boletines electrónicos.

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

Rte/ Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología. Cenicaña.  
Dirección postal: Calle 58 norte N° 3BN-110. Cali, Colombia.

[buzon@cenicana.org](mailto:buzon@cenicana.org)



### Estación Experimental

Vía Cali-Florida km 26  
San Antonio de los Caballeros  
(Florida, Valle del Cauca)  
<[www.cenicana.org/rutas.php](http://www.cenicana.org/rutas.php)>

Teléfono (57) (2) 687 66 11

Fax (57) (2) 260 78 53

www.4-72.com.co

472  
LA RED POSTAL DE COLOMBIA

► Línea de Atención al Cliente Nacional ◀  
01 8000 111210

Tarifa Postal Reducida No. 2011-129

4-72 La Red Postal de Colombia

Vence 31 de diciembre de 2011