

Capítulo 4

Enfermedades prevalentes en variedades de caña de azúcar para panela y su relación con factores abióticos en Boyacá y Santander

Angela María Vargas Berdugo, Leidy Yibeth Deantonio-Florido, Ayda Fernanda Barona Rodríguez, Javier Jiménez Vargas y Nancy del Carmen Barreto-Triana

Resumen

En Colombia, el cultivo de caña de azúcar para panela registra una alta incidencia de enfermedades de importancia económica, lo que ocasiona pérdidas productivas aún no cuantificadas. El objetivo del presente estudio fue identificar y determinar la incidencia de enfermedades sistémicas y foliares prevalentes en las variedades comerciales de caña de azúcar RD 75-11, CC 01-1940 y CC 93-7711 en Boyacá y Santander, y su posible relación con factores abióticos como la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, el brillo solar y la altitud. Se colectaron muestras de tejido foliar para determinar la presencia de las enfermedades más comunes. Posteriormente, se realizó un análisis de correspondencia múltiple para relacionar 10 variables y 139 categorías. Los principales resultados obtenidos por variedad fueron: la variedad CC 93-7711 mostró alta susceptibilidad a las enfermedades foliares de roya café, con incidencia del 100 % y severidad del 72 %, y mancha de anillo, con incidencia del 100 % y severidad entre el 11 y el 51 %. La variedad RD 75-11, en contraste, presentó alta incidencia de roya naranja y de mancha de anillo (cercana al 100 %), y una severidad del 51 %. En la variedad CC 01-1940 se cuantificó una incidencia de roya naranja entre el 30 y el 100 %, y una severidad entre el 11 y el 51 %. De las tres variedades evaluadas, la CC 01-1940 fue la única positiva para el virus de la hoja amarilla, con una incidencia del 83 %. Este

estudio brinda información básica, pero actualizada, que contribuye a mejorar el manejo integrado de enfermedades de la caña de azúcar para producción de panela en las variedades de mayor adopción en las zonas productoras evaluadas.

Palabras clave: variedades, virus de la hoja amarilla, roya café, roya naranja

Introducción

En Colombia, la primera enfermedad registrada en caña de azúcar fue el virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV, por sus siglas en inglés: *Sugarcane mosaic virus*), la cual produjo pérdidas en rendimiento de entre el 2,5 y el 33,4 %. No obstante, para caña de azúcar se han identificado otros problemas fitosanitarios asociados a hongos, bacterias y nematodos (Victoria et al., 1995). Para el caso de enfermedades ocasionadas por hongos, se reconocen a la fecha la pudrición roja (*Phylospora tucumanensis* Speg), el mal de piña (*Ceratocystis paradoxa* [De Seynes] C. Moreau), el muermo rojo o pudrición del tallo (*Colletotrichum falcatum* Went), la mancha de anillo (*Leptosphaeria sacchari* Breda de Haan), la mancha de ojo (*Bipolaris sacchari* [E. J. Butler] Shoemaker), el cogollo retorcido (*Fusarium moniliforme* anamorfo de *Gibberella fujikuroi* [Sawada] Wollenw.), el carbón (*Ustilago scitaminea* Syd. Sinom. *Sporisorium scitamineum* [Syd.] M. Piepenbr., M. Stoll & Oberw.), la roya café (*Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd.) y la roya naranja (*Puccinia kuehnii* [W. Krüger] E. J. Butler). Para el caso de enfermedades bacterianas, sobresalen el raquitismo de la soca (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*) y la escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans* [Ashby] Dowson). En cuanto a virus, el SCMV (Osorio, 2007) y el virus de la hoja amarilla (SCYLV, por sus siglas en inglés: *Sugarcane yellow leaf virus*) han sido identificados como los más comunes.

La Hoya del Río Suárez (HRS) es una de las principales regiones productoras de caña de azúcar para panela de Colombia. Incluye

23 municipios, en la actualidad cuenta con cerca de 46.912 hectáreas cultivadas y registra los mayores rendimientos promedio del país para la producción de panela (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], s. f.). Por la histórica importancia de la HRS, en 1997 se documentaron e identificaron trece enfermedades en el cultivo de caña de azúcar, entre las cuales, para ese momento, las más frecuentes correspondían al carbón de la caña, el raquitismo de la soca, la mancha de ojo, la mancha de anillo y el ataque de nematodos fitoparásitos. Como resultado, la principal recomendación en dicho estudio fue realizar vigilancia fitosanitaria periódica a los cultivos (Insuasty Burbano & Manrique Estupiñán, 1997). En cuanto al manejo de enfermedades, Cenicaña ha evaluado alternativas químicas, prácticas culturales, estrategias de fertilización y —la principal— control varietal por medio de la obtención de variedades con alta tolerancia a enfermedades (Ángel et al., 2010b; Tarazona Parra, 2011).

A pesar de este contexto, teniendo en cuenta la relevancia de la zona para la producción de panela a nivel nacional, se evidencia la necesidad de continuar con el seguimiento y la determinación de la prevalencia de enfermedades que puedan llegar a ser limitantes para el sistema productivo en la HRS y su posible relación con variables climáticas específicas, condiciones biofísicas y ambientales, el escaso uso de semilla de calidad y la disminución en las prácticas de monitoreo periódico de plagas y enfermedades en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Es importante resaltar que incluir en el manejo integrado de enfermedades una línea base diagnóstica actualizada hace posible que este sea dinámico y se dirija a controlar la diseminación de enfermedades nuevas o emergentes. De este modo es posible soportar la toma de decisiones de forma acertada en los sistemas de producción de caña de azúcar para producción de panela. La actualización de la información sanitaria y de los estudios para estimar las pérdidas económicas ocasionadas bajo diferentes niveles de prevalencia de las enfermedades siempre será una herramienta de utilidad para el manejo integrado del cultivo, que está direccionado a garantizar

un rendimiento adecuado y a evitar la diseminación de enfermedades en zonas libres de algunas de ellas.

Los resultados de este estudio aportan al sector panelero una base diagnóstica actualizada de la incidencia y severidad de enfermedades en las variedades RD 75-11, CC 01-1940 y CC 93-7711 y de su relación con factores abióticos como la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, el brillo solar y la altitud en municipios paneleros de la HRS.

Metodología

Área de estudio y variedades

El reconocimiento de las enfermedades asociadas al cultivo de caña de azúcar para la producción de panela se realizó durante el año 2019, en 21 fincas y 43 parcelas ubicadas en rangos altitudinales entre los 1.200 y 2.000 m s. n. m., en los municipios de Barbosa, Güepsa, Vélez, San Benito, Ocamonte, Páramo y Valle de San José, en el departamento de Santander, y Moniquirá, Togüí, San José de Pare y Santana, en el departamento de Boyacá (figura 4.1). Las variedades evaluadas fueron RD 75-11, CC 01-1940 y CC 93-7711, con edades entre siete y diez meses, en parcelas comerciales sin mezcla de variedades.

y el siguiente cálculo: área foliar afectada dividida por el área total evaluada (50 cm²). La proporción obtenida fue multiplicada por 100. Para determinar el porcentaje de incidencia, se cuantificó el número de hojas con presencia de la enfermedad dividido por la totalidad de las hojas evaluadas. Esta proporción también fue multiplicada por 100. Las enfermedades evaluadas visualmente fueron las siguientes: muermo rojo o pudrición del tallo (*C. falcatum*), mancha de anillo (*L. sacchari*), mancha de ojo (*B. sacchari*), roya café (*P. melanocephala*) y roya naranja (*P. kuehnii*), siguiendo la guía de evaluación en campo reportada por Ángel Sánchez et al. (2016) y Ovalle (2018).

Muestreo y diagnóstico de enfermedades sistémicas

La incidencia o presencia de enfermedades sistémicas para cada una de las muestras colectadas en campo se enfocó en un análisis visual para el hongo *C. falcatum*, causante del muermo rojo en caña, y en la detección en laboratorio de los agentes causales del raquitismo de la soca (*L. xyli* subsp. *xyli*), la escaldadura de la hoja (*X. albilineans*) y el SCYLV, estas tres últimas reportadas actualmente por Cenicaña como las enfermedades sistémicas más limitantes en la producción. Dichos análisis fueron realizados empleando el servicio de diagnóstico de enfermedades de Cenicaña, atendiendo las recomendaciones de colecta para el diagnóstico de enfermedades de la caña de azúcar (Cenicaña, 2023). De forma general, en cada predio se colectaron 20 hojas TVD de plantas independientes por cada variedad.

En los laboratorios de diagnóstico de Cenicaña, los métodos empleados para los patógenos sistémicos evaluados fueron los siguientes para la totalidad de las muestras colectadas en campo: *L. xyli* subsp. *xyli* y *X. albilineans*: método de inmunoenzimática de TBIA (*tissue-blot immunoassay*), basado en la impresión de la nervadura central de la hoja colectada sobre membranas de nitrocelulosa, usando antisueros policlonales específicos generados por Cenicaña para cada bacteria. La detección del Virus de la hoja amarilla de la caña o (SCYLV por sus siglas en inglés *Sugarcane*

yellow leaf virus) se realizó por RT-PCR (retrotranscripción y reacción en cadena de la polimerasa), a partir de la extracción de los ácidos nucleicos (ARN) de la muestra de hojas de caña (Guzmán & Victoria, 2001); la interpretación de la lectura en gel de agarosa indicó presencia o detección positiva del virus con la marcación de una banda (1.200 pares de base), y ausencia o detección negativa del virus en ausencia de la banda esperada.

Análisis climático

Se emplearon datos meteorológicos suministrados por el Ideam, los cuales fueron previamente depurados por investigadores de AGROSAVIA en el marco del proyecto Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático – MAPA (Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática). Inicialmente, se realizó la consolidación de la serie de datos climáticos del periodo 1980-2011 de las variables precipitación, o PPT (mm); temperatura media, o T_M (°C); brillo solar, o BS (h), y humedad relativa, o HR (%). Para obtener un valor estimado por variable climática en cada punto de muestreo, se realizó la interpolación con el método IDW (*inverse distance weighted*), y posteriormente se llevó a cabo un análisis descriptivo de las variables considerando la distribución de la precipitación a lo largo del año, que determina los periodos agrícolas o los trimestres para los departamentos de Santander y Boyacá, así: diciembre, enero y febrero (DEF); marzo, abril y mayo (MAM); junio, julio y agosto (JJA), y septiembre, octubre y noviembre (SON) (AGROSAVIA, 2015).

Asociación de los factores abióticos y la prevalencia de las enfermedades con las variedades de caña de azúcar para producción de panela

Se realizó un análisis de correspondencia múltiple (ACM) empleando el software estadístico R, con el fin de determinar la asociación existente entre las enfermedades foliares (5) y sistémicas (3) y 10 variables, correspondientes a las tres variedades (RD 75-11, CC 93-7711 y CC 01-1940), la prevalencia de la enfermedad (incidencia y severidad) y factores abióticos (temperatura,

precipitación, humedad relativa, brillo solar y altitud); para estos dos últimos grupos de variables, se establecieron 139 categorías (tabla 4.1). Con el propósito de reducir el número de interacciones, se seleccionaron dimensiones (datos no mostrados) con explicación de variabilidad de $\geq 70\%$, representando, finalmente, mediante gráficos *biplo*t, la estructura de relación entre las variables y la contribución (peso de una variable respecto a otras).

Tabla 4.1. Variables categorizadas para el ACM

Variable	Enfermedad diagnosticada					
	Mancha de anillo	Mancha de ojo	Muerto rojo	Roya café	Roya naranja	SCYLV
Incidencia (%)	0	0	0	0	0	Positiva Negativa
	5-25	25	5-25	15-25	10-25	
	30-55	30-55	30-50	50-55	30-55	
	60-85	60-80	75	60-85	60-85	
	90-100	90-100	100	90-100	90-100	
Severidad (%)	0	0	0	0	0	
	1-5	1-5	1-3	6-13	4-5	
	6-9	6-9	6-10	14-24	6-10	
	11-24	11-25	14-20	28-33	11-25	
	27-51	36	33-47	52-72	26-46	
					65-70	
Temperatura (°C)	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19
	20-23	20-23	20-23	20-23	20-23	20-23
Precipitación (mm)	1.931-2.212	1.931-2.212	1.931-2.212	1.931-2.212	1.931-2.212	1.931-2.212
	2.265-2.446	2.265-2.446	2.265-2.446	2.265-2.446	2.265-2.446	2.265-2.446
	2.454-2.676	2.454-2.676	2.454-2.676	2.454-2.676	2.454-2.676	2.454-2.676
Humedad relativa (%)	75-77	75-77	75-77	75-77	75-77	75-77
	75-84	75-84	75-84	75-84	75-84	75-84
	85-87	85-87	85-87	85-87	85-87	85-87

Continúa

Continuación tabla 4.1

Variable	Enfermedad diagnosticada					
	Mancha de anillo	Mancha de ojo	Muerto rojo	Roya café	Roya naranja	SCYLV
Brillo solar (h)	1.885-1.917	1.885-1.917	1.885-1.917	1.885-1.917	1.885-1.917	1.885-1.917
	1.918-2.047	1.918-2.047	1.918-2.047	1.918-2.047	1.918-2.047	1.918-2.047
	2.054-2.201	2.054-2.201	2.054-2.201	2.054-2.201	2.054-2.201	2.054-2.201
Altitud (m s. n. m.)	1.199-1.383	1.199-1.383	1.199-1.383	1.199-1.383	1.199-1.383	1.199-1.383
	1.418-1.591	1.418-1.591	1.418-1.591	1.418-1.591	1.418-1.591	1.418-1.591
	1.602-1.987	1.602-1.987	1.602-1.987	1.602-1.987	1.602-1.987	1.602-1.987

Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

Incidencia de enfermedades en caña de azúcar para panela

Se confirmó la prevalencia de las siguientes enfermedades foliares en las zonas productoras de caña para panela donde se realizó la colecta de las muestras: roya café (*P. melanocephala*), roya naranja (*P. kuehnii*), mancha de anillo (*L. sacchari*), mancha de ojo (*B. sacchari*) y muerto rojo (*C. falcatum*). Se observó roya café en la variedad CC 93-7711 únicamente, con una incidencia del 93 %, mientras que la incidencia de roya naranja fue superior en las variedades CC 01-1940 (100 %) y RD 75-11 (93 %); para el caso de la variedad CC 93-7711, la enfermedad no superó el 10 %. En las tres variedades evaluadas la incidencia de mancha de anillo fue superior al 90 %, en tanto que la incidencia de mancha de ojo y muerto rojo fue superior en la variedad CC 01-1940 (75 % y 67 %, respectivamente), seguida de las variedades CC 93-7711 (50 % y 57 %, respectivamente) y RD 75-11 (33 % para las dos enfermedades).

La única enfermedad sistémica confirmada fue el SCYLV, que presentó mayor incidencia en la variedad CC 01-1940 (83 %), seguida de las variedades RD 75-11 (13 %) y CC 93-7711 (7 %). Esto indica que la variedad CC 01-1940 presenta susceptibilidad a este virus bajo las condiciones ambientales de la HRS, hallazgo confirmado también en la zona azucarera del Valle del Cauca (Cardozo Burgos, 2017).

Caracterización climática

Precipitación (mm)

Los municipios del área de estudio cuentan con una PPT acumulada de 1.959 a 2.515 mm anuales (tabla 4.2), distribuidos a lo largo del año, con un régimen bimodal y una variación acorde con las condiciones biofísicas de altitud, paisaje, cobertura vegetal, entre otras. Los municipios que presentan menores volúmenes de PPT son Páramo y Valle de San José (Santander), condición que es más intensa durante el trimestre DEF, con valores entre 161 y 186 mm (tabla 4.2), respectivamente; esto indica que un marcado periodo de sequía podría afectar el comportamiento productivo de las variedades cuando estas no presentan tolerancia a dicha condición, así como generar una mayor susceptibilidad al desarrollo de enfermedades de tipo foliar o aquellas favorecidas con altas temperaturas y baja disponibilidad de agua, como la mancha de ojo y la mancha de anillo. En general, en los municipios que conforman el área de estudio, los trimestres MAM y SON registran mayores volúmenes de PPT, en particular en los municipios de Güepsa, Ocamonte y San Benito (Santander) (tabla 4.2); esto se asocia con una mayor disponibilidad de agua en la atmósfera y en el suelo, y con unos marcados periodos de transición al iniciar y finalizar estos trimestres; es decir, la variación de una época de menores a mayores lluvias podría favorecer y hasta acelerar el desarrollo de los patógenos causantes de las enfermedades reportadas en este estudio. Finalmente, en el trimestre JJA se observa una temporada de transición de menores a mayores volúmenes de PPT (tabla 4.2).

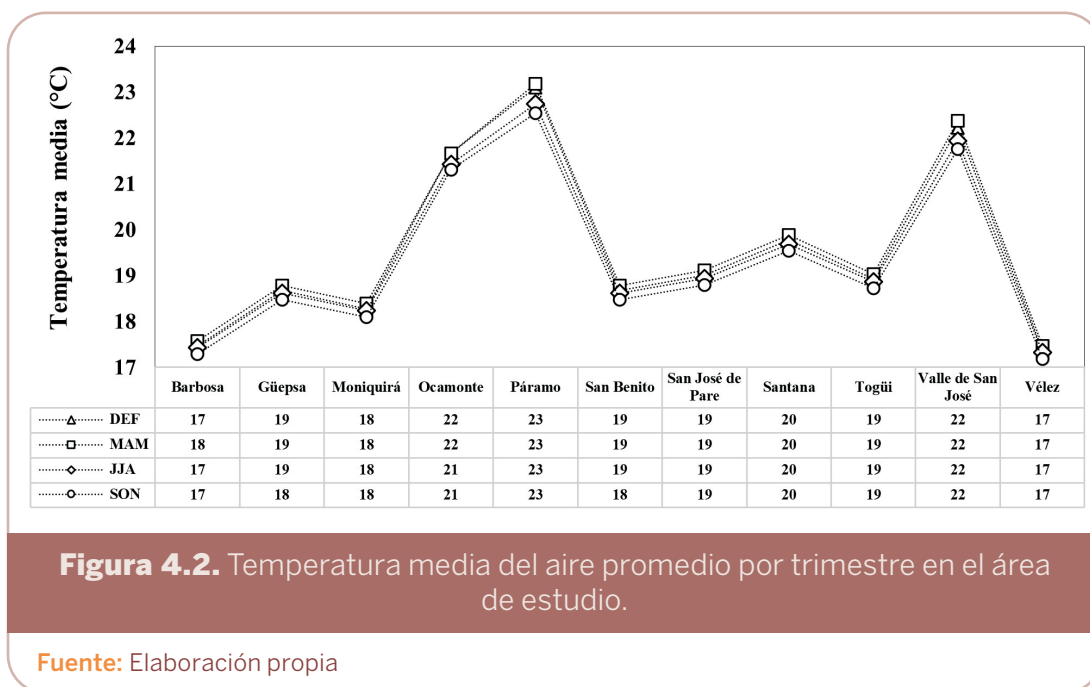
Tabla 4.2. Precipitación promedio acumulada (mm) por trimestre y multianual en el área de estudio

Municipio	Trimestre				Multianual (1981-2011)
	DEF	MAM	JJA	SON	
Barbosa	256	693	558	699	2.212
Güepsa	306	747	619	767	2.446
Moniquirá	252	692	548	679	2.177
Ocamonte	341	758	596	806	2.515
Páramo	161	570	614	609	1.959
San Benito	306	747	619	767	2.446
San José de Pare	309	748	624	767	2.454
Santana	307	740	629	756	2.439
Togüí	297	735	584	737	2.360
Valle de San José	186	587	595	624	2.000
Vélez	268	706	569	716	2.265

Fuente: Elaboración propia

Temperatura media del aire (°C)

La temperatura media fluctúa entre 17 y 23 °C; sin embargo, como se indica en la figura 4.2, la variación por municipio y trimestre no supera 1 °C de diferencia, dado que es una variable relativamente estable por su relación directa con la altitud. A pesar de esto, la variación horaria y diaria de la temperatura podría ser determinante para el desarrollo de las enfermedades, así como el efecto aditivo al integrar las demás variables climáticas que inciden en la zona y el sistema productivo; por tal razón, para el estudio de enfermedades de caña, es fundamental registrar los valores horarios y diarios de las temperaturas máxima, mínima y media del aire, para comprender de manera más precisa la interacción planta-ambiente-patógeno.



Humedad relativa (%)

El promedio multianual en cada uno de los municipios del área de estudio varía entre trimestres de uno hasta cuatro unidades porcentuales. De manera general, se registra una HR del 75-88 % (tabla 4.3). La tendencia a presentar HR superiores al 75 % podría favorecer el desarrollo de buena parte de las enfermedades registradas, así como su transición en la mañana, el medio día y la noche.

Tabla 4.3. Humedad relativa promedio (%) por trimestre en el área de estudio

Municipio	Trimestre			
	DEF	MAM	JJA	SON
Barbosa	87	87	86	88
Güepsa	86	86	85	86
Moniquirá	86	86	85	87
Ocamonte	76	77	78	76
Páramo	74	76	77	72

Continúa

Continuación tabla 4.3

Municipio	Trimestre			
	DEF	MAM	JJA	SON
San Benito	86	86	85	86
San José de Pare	85	85	85	86
Santana	83	84	83	84
Togüí	85	85	85	86
Valle de San José	76	77	79	75
Vélez	87	88	86	88

Fuente: Elaboración propia

Brillo solar (h)

La acumulación de bs anual cuenta con una variación entre 1.885 y 2.192 h en los once municipios relacionados. Sin embargo, el 70 % del área de estudio cuenta con un bs en el orden de 1.885-1.936 h, y solo tres de estos municipios o predios muestreados registran valores superiores: Ocamonte (2.017 h/año), Páramo (2.192 h/año) y Valle de San José (2.156 h/año), ubicados en la provincia de Guanentá, en el departamento de Santander (figura 4.3).

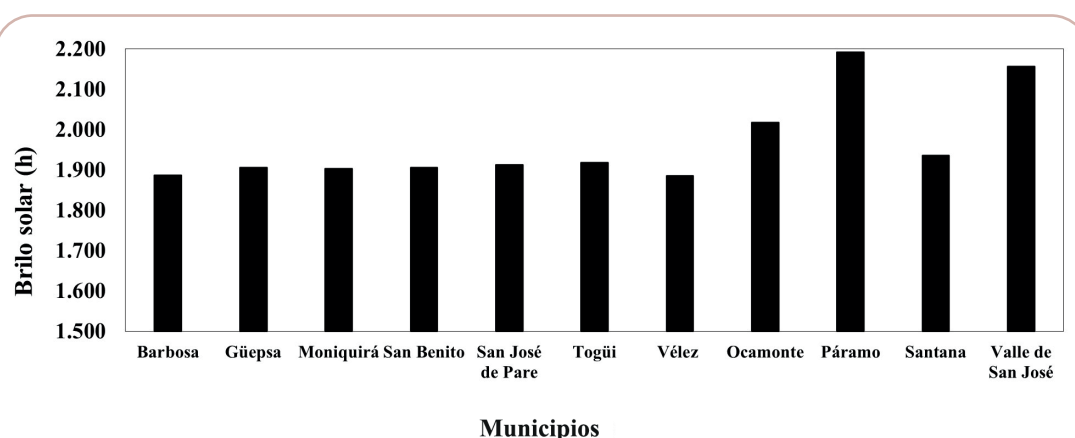


Figura 4.3. Brillo solar anual en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Asociación de los factores abióticos y la prevalencia de las enfermedades con las variedades de caña

Roya café (*P. melanocephala*)

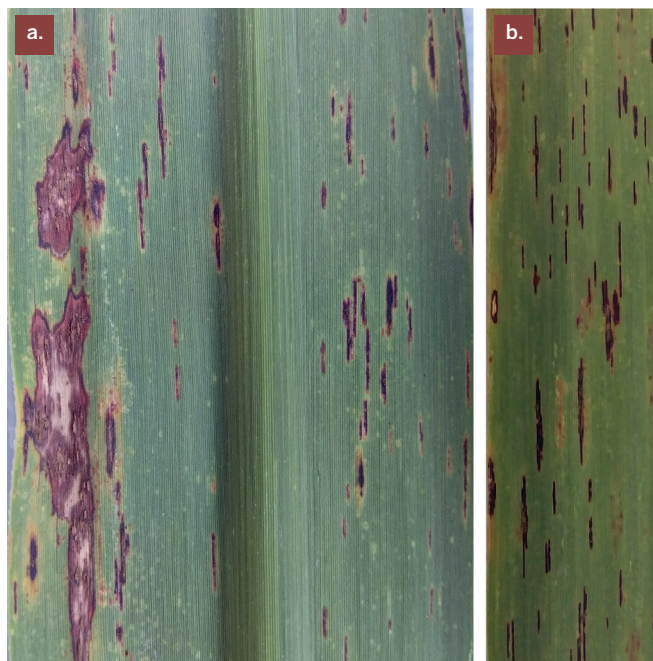


Figura 4.4. Pústulas generadas por *P. melanocephala* en la variedad CC 93-7711. a. Lesiones avanzadas coalescentes con esporulación abundante; b. Lesiones iniciales localizadas sin esporulación.

Fotos: Angela María Vargas Berdugo

El 71,3 % de la variabilidad estuvo asociada con seis dimensiones (datos no mostrados). La variedad CC 93-7711 presentó asociación con incidencias entre el 15 y el 100 % y severidades entre el 6 y el 72 %, independientemente de los factores abióticos (figura 4.4); esto podría indicar una mayor susceptibilidad de la variedad al desarrollo de la roya café (figura 4.4) en las edades monitoreadas. Las variedades RD 75-11 y CC 01-1940, por su parte, no presentaron asociación con la roya café en predios con altitudes entre 1.602 y 1.987 m y volúmenes de precipitación anual entre 1.931 y 2.212 mm; esto podría indicar que el desarrollo

de esta enfermedad se restringe en las condiciones de altitud y precipitación descritas, sumadas a la respuesta genética de cada una de las variedades (figura 4.5).

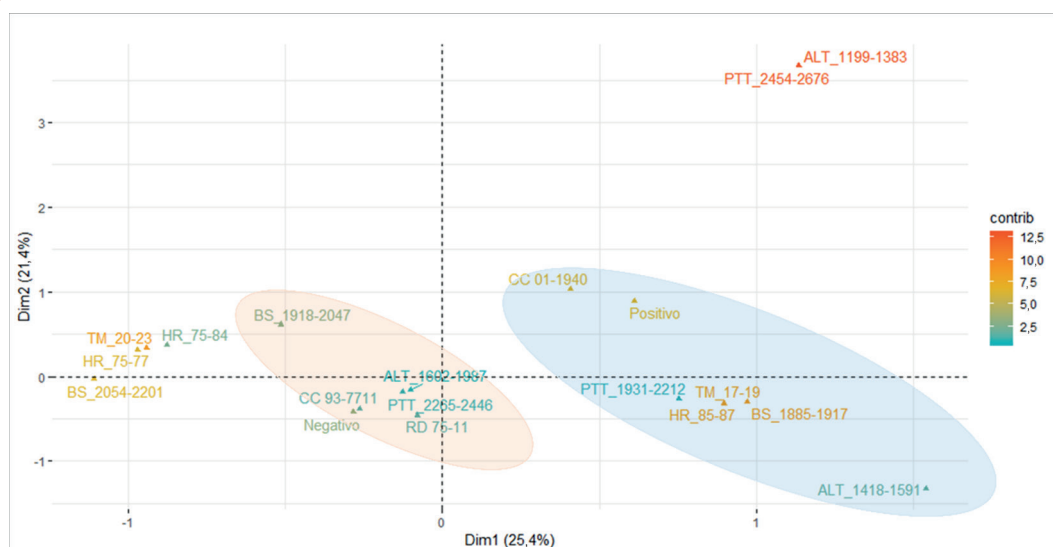


Figura 4.5. Asociación de la prevalencia de la roya café con las variedades RD 75-11, CC 01-1940 y CC 93-7711 y factores abióticos.

Nota: Variables: In (incidencia), Sev (severidad), TM (temperatura media), PPT (precipitación), HR (humedad relativa), BS (brillo solar) y ALT (altitud). La contribución de las variables se representa en escala de colores, de mayor a menor, así: rojo (8), naranja (6), amarillo (4), verde (2) y azul (0).

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que las interacciones entre las variedades y los factores abióticos tienen un efecto directo sobre la resistencia a las enfermedades (Agris, 2005), los resultados obtenidos en la presente investigación muestran una alta susceptibilidad de la variedad CC 93-7711 y un grado de tolerancia importante por parte de las variedades RD 75-11 y CC 01-1940 a la roya café; como mencionan Ángel et al. (2010a) y Barrera et al. (2012), altos volúmenes de precipitación y alta humedad relativa, acompañados de temperaturas entre 17 y 32 °C, favorecen las infecciones de *P. melanocephala* en caña de azúcar.

Roya naranja (*P. kuehnii*)



Figura 4.6. Pústulas generadas por *P. kuehnii* en dos variedades de caña: lesiones avanzadas coalescentes con esporulación abundante. a. CC 01-1940; b. RD 75-11.

Fotos: Angela María Vargas Berdugo

El 70,4% de la variabilidad estuvo asociada con dos dimensiones (datos no mostrados). La variedad CC 01-1940 se asoció a incidencias del 10-25% y a severidades entre el 6 y el 10% (figura 4.6) en predios con volúmenes de precipitación anual entre 1.031 y 2.212 mm; por su parte, la variedad RD 75-11 se asoció a incidencias del 30-100% y a severidades entre el 4 y el 70% (figura 4.6) en predios con altitudes entre 1.602 y 1.987 m, temperaturas anuales promedio entre 17 y 19 °C, humedad relativa promedio anual entre el 85 y el 87% y brillo solar de 1.885-1.917 h (figura 4.6). Finalmente, la variedad CC 93-7711 no registró daño por el patógeno en las condiciones del presente estudio (figura 4.7).

Contrario a lo observado en roya café, la variedad CC 93-7711 reportó resistencia a roya naranja, a pesar de las condiciones climáticas de la zona de estudio, mientras que en las variedades restantes las incidencias y severidades se relacionaron con precipitaciones anuales cercanas a los 2.000 mm y, para el caso del material RD 75-11, con una alta humedad relativa. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Barrera et al. (2013), Sanjel et al. (2018) y Aday-Díaz et al. (2020), quienes mencionan que la infección y severidad de *P. kuehnii* se ve favorecida por humedades relativas superiores al 80 % (Aday-Díaz et al., 2020). Por otro lado, la alta incidencia y severidad en RD 75-11 cobra gran relevancia en Santander y Boyacá, ya que es la variedad de mayor predominio en la zona y a la que se le atribuyen los bajos rendimientos en la producción de caña, calculados entre el 30 y el 35 % (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2019).

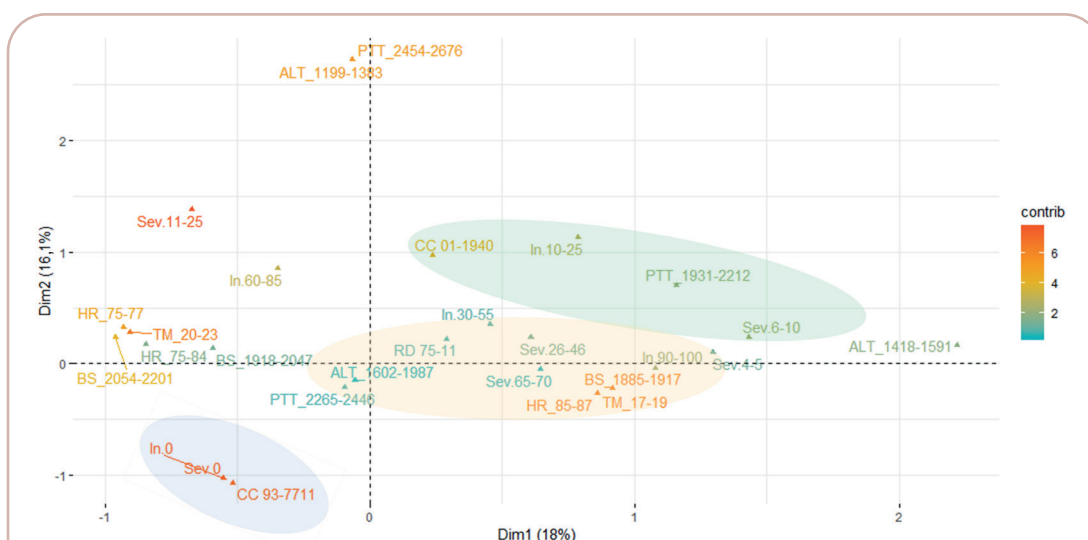


Figura 4.7. Asociación de la prevalencia de la roya naranja con las variedades RD 75-11, CC 01-1940 y CC 93-7711 y factores abióticos.

Nota: Variables: In (incidencia), Sev (severidad), TM (temperatura media), PPT (precipitación), HR (humedad relativa), BS (brillo solar) y ALT (altitud). La contribución de las variables se representa en escala de colores, de mayor a menor, así: rojo (8), naranja (6), amarillo (4), verde (2) y azul (0).

Fuente: Elaboración propia

Mancha de anillo (*L. sacchari*)

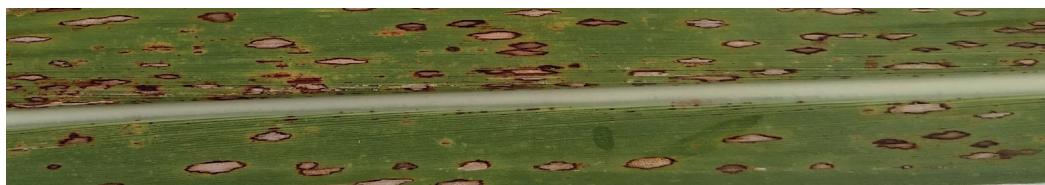


Figura 4.8. Lesiones características ocasionadas por *L. sacchari*.

Foto: Ayda Fernanda Barona Rodríguez

El 70,3 % de la variabilidad estuvo asociada con siete dimensiones (datos no mostrados). La variedad CC 01-1940, establecida en predios con altitudes entre 1.418 y 1.591 m, temperaturas entre 17 y 19 °C, volúmenes de precipitación entre 1.931 y 2.021 mm, humedad relativa entre el 85 y el 87 % y brillo solar de 1.885-1.917 h, se relacionó con incidencias y severidades del 25 y el 5 %, respectivamente. Para el caso de las variedades RD 75-11 y CC 93-7711, estas se relacionaron con incidencias entre el 30 y el 100 % y con severidades entre el 11 y el 51 % en altitudes entre 1.602 y 1.987 m, temperaturas de 20 a 23 °C, volúmenes de precipitación entre 2.265 y 2.446 mm, humedad relativa entre el 75 y el 84 % y brillo solar entre 1.918 y 2.201 h (figuras 4.8 y 4.9).

Los porcentajes de severidad de mancha de anillo observados en el momento del muestreo para las variedades RD 75-11 y CC 93-7711 fueron superiores a los reportados por Ramírez Durán et al. (2014). En este sentido, la respuesta de dichos materiales a *L. sacchari*, además de estar asociada con deficiencias nutricionales (Victoria et al., 1995), está claramente relacionada con las condiciones ambientales registradas en la zona de estudio, ya que, como lo mencionan Kaiser et al. (1979), humedades relativas superiores al 70 % y temperaturas entre 10 y 30 °C contribuyen al incremento de la patogenicidad del hongo sobre diversas variedades de caña de azúcar.

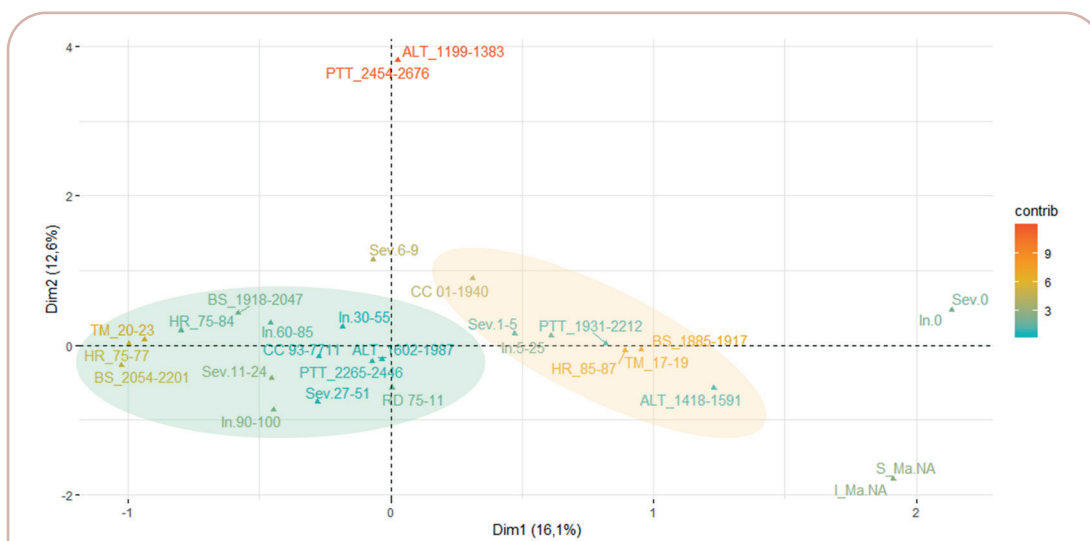


Figura 4.9. Asociación de la prevalencia de la mancha de anillo con las variedades RD 75-11, CC 01-1940 y CC 93-7711 y factores abióticos.

Nota: Variables: In (incidencia), Sev (severidad), TM (temperatura media), PPT (precipitación), HR (humedad relativa), BS (brillo solar) y ALT (altitud). La contribución de las variables se representa en escala de colores, de mayor a menor, así: rojo (8), naranja (6), amarillo (4), verde (2) y azul (0).

Fuente: Elaboración propia

Mancha de ojo (*B. sacchari*)

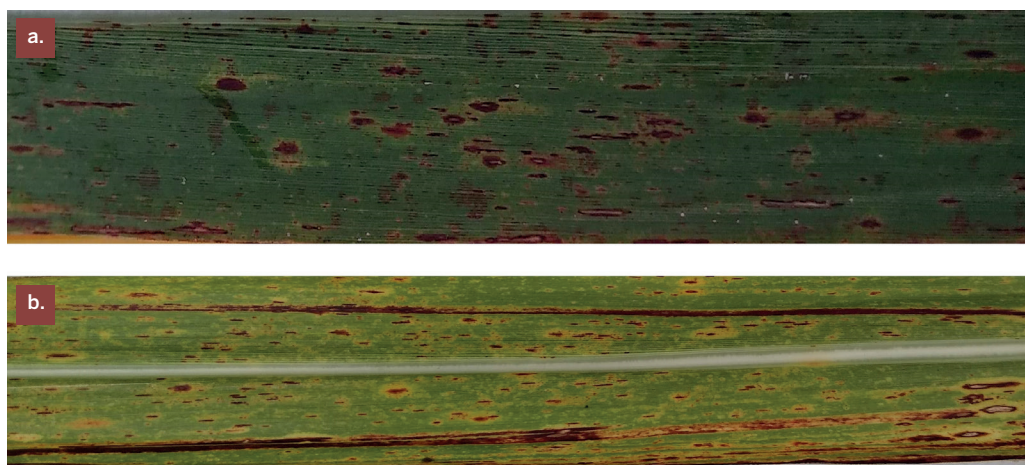
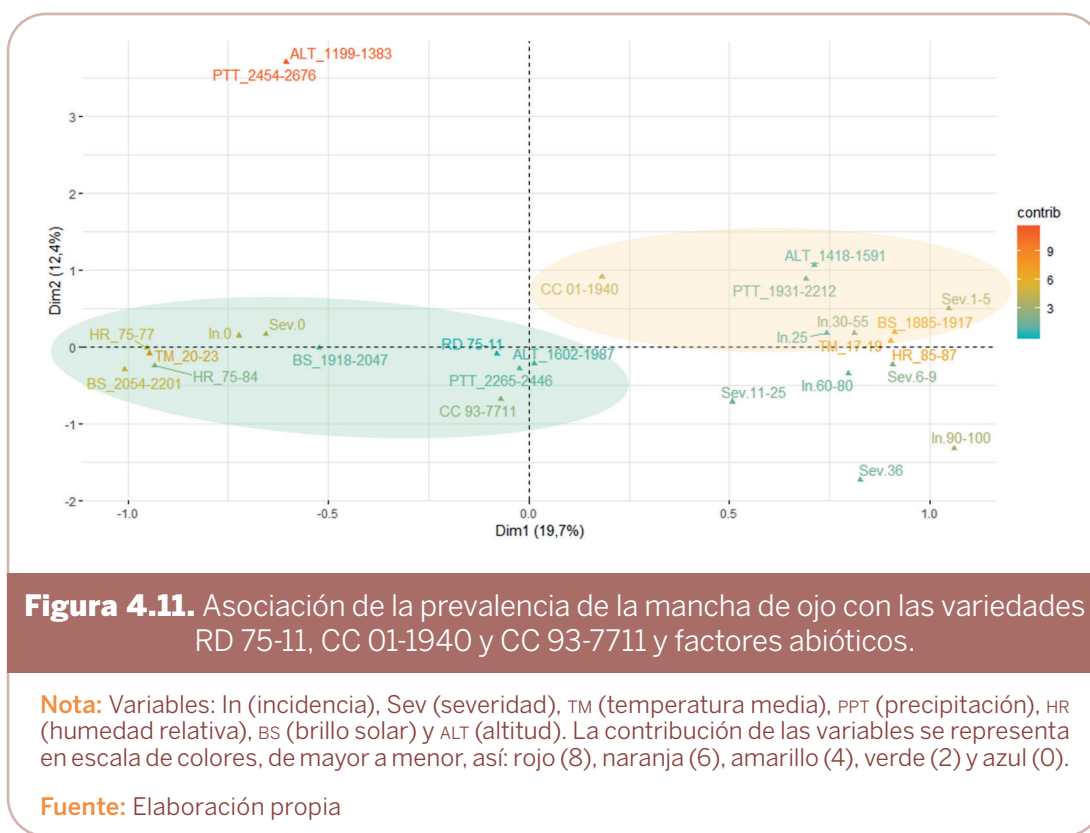


Figura 4.10. Presencia de *B. sacchari* en caña: respuesta diferencial entre dos variedades. a. CC 01-1940; b. RD 75-11.

Fotos: Ayda Fernanda Barona Rodríguez

Siete dimensiones (datos no mostrados) explicaron el 73,4 % de la variabilidad. La variedad CC 01-1940 se asocia con incidencias entre el 25 y el 35 % y con severidades del 1 al 5 % (figura 4.10) en altitudes entre 1.418 y 1.591 m, temperaturas entre 17 y 19 °C, precipitaciones entre 1.931 y 2.212 mm, humedad relativa del 85 al 87 % y brillo solar entre 1.885 y 1.917 h; por su parte, las variedades RD 75-11 (figura 4.10) y CC 93-7711, en altitudes de 1.602 a 1.987 m, con precipitaciones entre 2.265 y 2.446 mm, a temperaturas entre 20 y 23 °C, con una humedad relativa del 75 al 84 % y brillo solar entre 1.918 y 2.201 h, no presentaron daño por el patógeno (figura 4.11).



En la mayoría de los países productores de caña de azúcar, *B. sacchari* suele estar presente durante todo el año, aunque son más notorias las infecciones en épocas de alta precipitación y humedad relativa, con temperaturas promedio entre 20 y 22 °C

(Saumtally & Sullivan, 2000; Victoria et al., 1995). El resultado obtenido en la presente investigación destaca la alta resistencia a mancha de ojo por parte de los materiales establecidos en la zona de estudio, y concuerda con lo reportado por Ramírez Durán et al. (2014), quienes mencionan que las variedades RD 75-11 y CC 93-7711 son consideradas materiales con buena respuesta al ataque de esta enfermedad.

Muermo rojo o pudrición del tallo (*C. falcatum*)

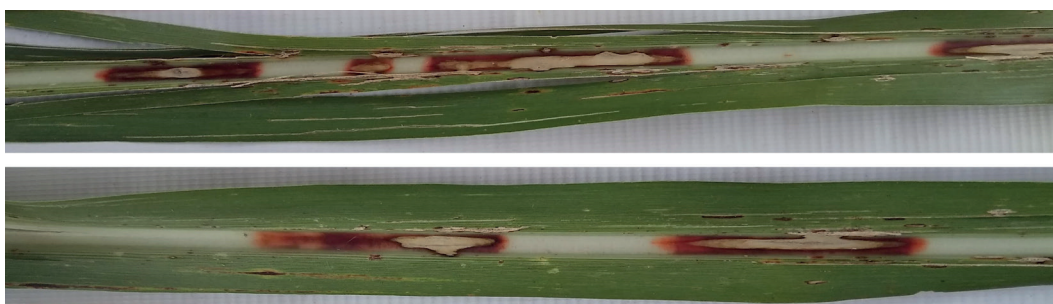
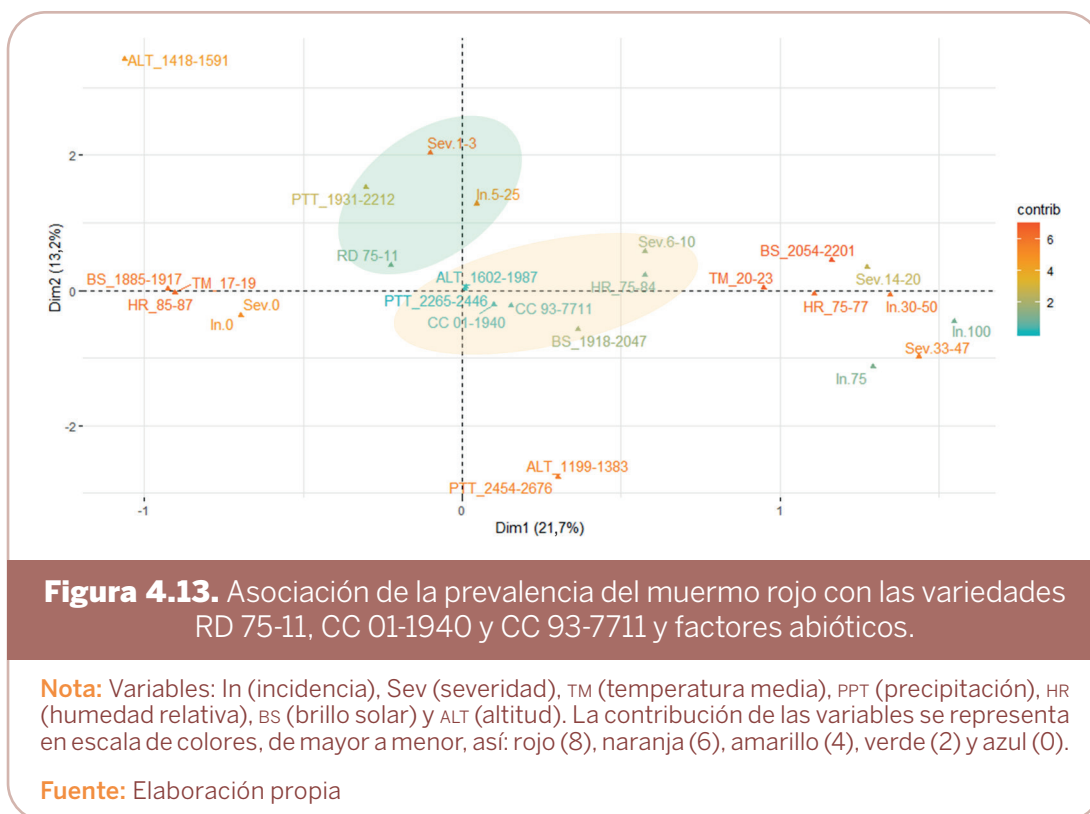


Figura 4.12. Lesiones ocasionadas por *C. falcatum* en la variedad RD 75-11.

Fotos: Ayda Fernanda Barona Rodríguez

Seis dimensiones (datos no mostrados) explicaron el 70 % de la variabilidad. En la figura 4.13 se resaltan dos grupos de categorías que presentaron mayor relación con las variedades evaluadas. La variedad RD 75-11 está asociada a incidencias del 5 al 25 % y a severidades entre el 1 y el 3 % (figura 4.12) en predios ubicados en zonas con precipitaciones entre 1.931 y 2.212 mm, en tanto que las variedades CC 01-1940 y CC 93-7711 se asocian a severidades entre el 6 y el 10 % en ambientes con precipitaciones entre 2.265 y 2.446 mm, humedad relativa entre el 75 y el 84 %, brillo solar entre 1.918 y 2.047 h y altitudes desde los 1.602 hasta los 1.987 m (figura 4.13).

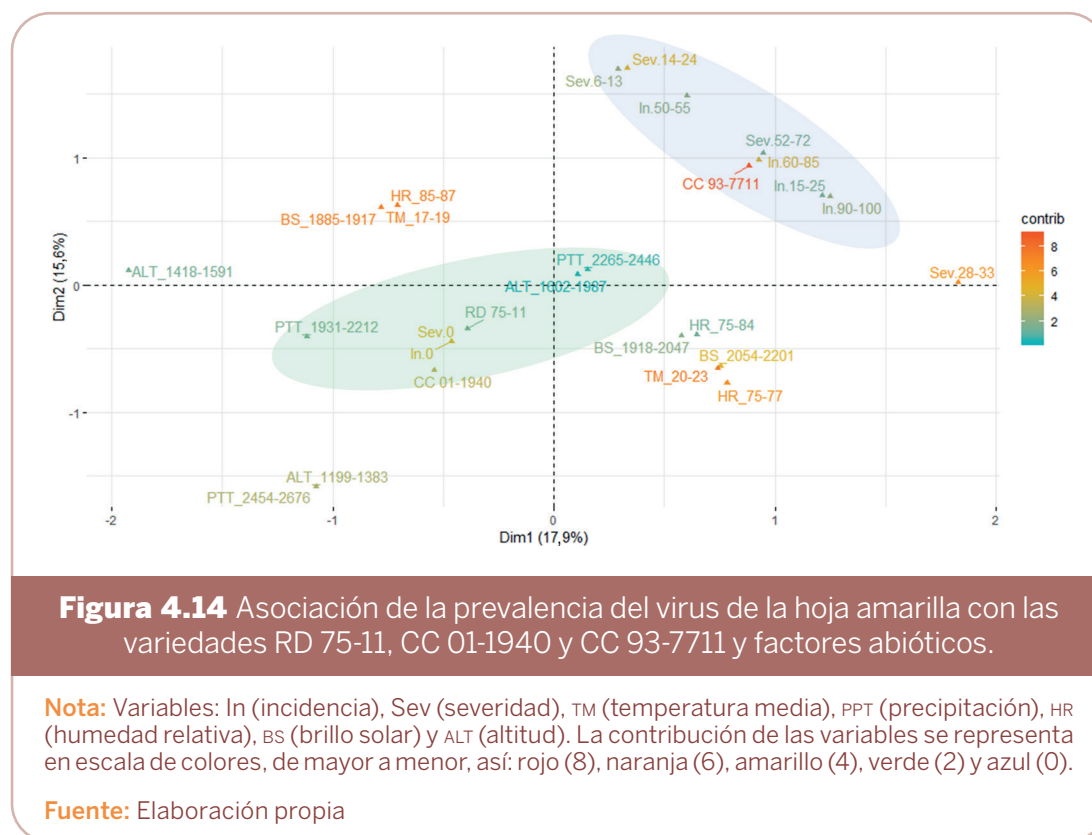


El hongo del género *Colletotrichum* es considerado como uno de los patógenos más importantes alrededor del mundo, debido a que causa daños significativos a cultivos de seguridad alimentaria, como cereales, gramíneas, hortalizas, leguminosas, ornamentales y frutales ubicados en zonas tropicales y subtropicales (Prusky et al., 2000). Como indica Agnihotri (1990), entre los materiales de caña de azúcar existen diferencias en el nivel de susceptibilidad al hongo causante del muermo rojo, según el tipo de variedad y las condiciones ambientales. Para el caso específico de *C. falcatum*, las condiciones climáticas que favorecen su desarrollo se asocian principalmente a temperaturas cálidas, entre 16 y 35 °C (Viswanathan, 2021). En este contexto, en la presente investigación, los niveles de precipitación bajos-medios y las mayores altitudes, que biofísicamente se asocian a menores temperaturas (Aigang et al., 2009), permiten potenciar la resistencia de los materiales existentes en la zona productora de caña

de azúcar para panela de Santander y Boyacá, al disminuir los porcentajes de incidencia y severidad de la enfermedad.

Virus de la hoja amarilla (SCYLV)

Cinco dimensiones (datos no mostrados) explicaron el 78,8 % de la variabilidad. La variedad CC 01-1940 se relacionó con resultados positivos para el virus en predios con altitudes entre 1.418 y 1.591 m, temperaturas entre 17 y 19 °C, volúmenes de precipitación entre 1.931 y 2.021 mm y humedad relativa entre el 85 y el 87 %. Para el caso de las variedades RD 75-11 y CC 93-7711, los dos materiales se relacionaron con resultados negativos para el virus en altitudes entre 1.602 y 1.987 m, volúmenes de precipitación entre 2.265 y 2.446 mm y brillo solar entre 1.918 y 2.047 h (figura 4.14).



En Colombia, el SCYLv fue registrado en 1998 en el valle del río Cauca en la variedad SP 71-6163, introducida de Brasil, y a partir de esa fecha se han adelantado en el país estudios para desarrollar materiales resistentes que puedan ser incluidos en programas de mejoramiento (Rangel et al., 2002; Victoria et al., 1999). No obstante, la presencia del virus en las zonas productoras de Santander y Boyacá puede deberse, además de a una posible pérdida de resistencia varietal y el uso de material de siembra contaminado, a una transmisibilidad más eficiente del patógeno por su vector, el pulgón de la caña *Melanaphis sacchari* Zehntner (Hemiptera: Aphididae), mediada a su vez por las condiciones climáticas registradas en las zonas productoras. Acorde con esto último, la actividad del pulgón de la caña se ve afectada por la temperatura ambiental y los patrones de lluvia, ya que las poblaciones de la plaga disminuyen con el incremento de la precipitación (Pekarcik & Jacobson, 2021) y con las fluctuaciones de temperatura (Van Rensburg, 1973).

Conclusiones y recomendaciones

El principal efecto de los patógenos foliares como la roya café, la roya naranja, la mancha de anillo o la mancha de ojo es que establecen una asociación considerada parasítica con las plantas de caña de azúcar, en la que obtienen de su hospedante nutrientes y fuentes de carbono para su ciclo biológico. Las consecuencias observables en pérdidas de rendimiento están asociadas, por un lado, a la afectación del órgano fotosintético de las plantas, la lámina foliar, y, por otro lado, al aumento de ciertas rutas biosintéticas de defensa, por lo que se ve afectada la eficiencia en la acumulación y calidad de azúcares que expresan como tal el rendimiento del cultivo. La respuesta de cada agente causal de enfermedad es diferencial, de acuerdo con la respuesta genética de cada variedad y su entorno. Es decir, la expresión sintomática y los niveles de enfermedad tendrán una relación con el genotipo tanto de la planta como del patógeno y el ambiente, que puede a su vez condicionar el desarrollo de uno u otro.

Cuando los niveles de severidad de los patógenos foliares son iguales o superiores al 30 % durante todo el ciclo productivo de caña, puede estarse comprometiendo de manera significativa el rendimiento del cultivo. Para tomar decisiones de manejo, es necesario realizar un análisis puntual de la etapa de desarrollo en que se encuentra, así como un monitoreo adecuado de las diferentes variables climáticas que son conducentes de las enfermedades, de manera similar a la descrita para cada una de las enfermedades identificadas anteriormente estudiadas, pero realizando evaluaciones de incidencia y severidad por lo menos en tres etapas del cultivo: posterior al establecimiento y emergencia de las plantas; en las primeras etapas de desarrollo, cuando se realiza la fertilización; y cuando se hace el corte, ya sea por parejo o por entresaque.

En las condiciones del presente estudio, la variedad CC 93-7711 mostró ser la más susceptible a roya café en comparación con RD 75-11 y CC 01-1940, puesto que registró una incidencia de hasta el 100 % y una severidad de hasta el 72 % para la edad monitoreada, y fue la variedad de mayor tolerancia a roya naranja, puesto que no presentó daños por este patógeno; estos resultados fueron obtenidos de manera independiente a las características ambientales de la zona de estudio, a pesar de que la humedad relativa y los cambios de temperatura pueden ser factores conducentes de enfermedad para las variedades con menor tolerancia. Respecto a la relevancia epidémica y la injerencia en el rendimiento, actualmente la roya naranja ha sido reportada como más agresiva que la roya café, aunque la incidencia del 100 % de la roya café en la variedad CC 93-7711 sigue siendo relevante, ya que, a niveles altos de enfermedad, la taza fotosintética del cultivo puede verse comprometida y tener un efecto potencial directo sobre el rendimiento y la calidad de los jugos. Es importante resaltar que, para determinar un valor específico sobre el rendimiento, sería necesario realizar un seguimiento desde el establecimiento del cultivo con esta variedad hasta la cosecha; los valores acá reportados corresponden a un momento único del cultivo.

Las variedades RD 75-11 y CC 01-1940 presentaron alta prevalencia de roya naranja (incidencia entre el 30 y el 100 % y severidad entre el 11 y el 51 %); esto cobra gran relevancia si se tiene en cuenta que el primer material cuenta con una importante proporción de área sembrada y cosecha en la región de estudio (cerca del 80 %) y que el segundo es considerado como una variedad altamente promisorio y que está siendo adoptada en esta zona productora de panela. Los factores abióticos determinantes para este resultado fueron los siguientes: altitudes entre 1.602 y 1.987 m, temperaturas promedio entre 17 y 19 °C, humedad relativa promedio entre el 85 y el 87 % y brillo solar entre 1.885 y 1.917 h. La roya naranja es reportada como una de las enfermedades limitantes del cultivo por su fácil diseminación y rápida tasa de colonización. En consecuencia, los valores acá consignados indican que es necesario realizar un monitoreo constante para llegar a determinar el efecto directo sobre el rendimiento.

Las variedades RD 75-11 y CC 93-7711 se relacionaron con una alta prevalencia de mancha de anillo (incidencias entre el 30 y el 100 % y severidades del 11 al 51 %), especialmente en predios con altitudes entre 1.602 y 1.987 m, temperaturas de 20 a 23 °C, volúmenes de precipitación entre 2.265 y 2.446 mm, humedad relativa entre el 75 y el 84 % y brillo solar de 1.918 a 2.201; en contraste, la variedad CC 01-1940 presentó menor afectación de esta enfermedad, con incidencias y severidades inferiores al 25 %.

La tolerancia de los materiales RD 75-11, CC 93-7711 y CC 01-1940 a mancha de ojo y muermo rojo estuvo asociada a características ambientales diferenciales en comparación con otras enfermedades reportadas en esta investigación.

La identificación del virus de la hoja amarilla, su positividad del 83 % en la variedad CC 01-1940 y su asociación con las características ambientales de la zona de producción de caña de azúcar para panela de Santander y Boyacá sugieren la necesidad de implementar actividades de monitoreo y ampliar la evaluación de esta enfermedad y sus posibles medios de diseminación,

especialmente en nichos de producción que presenten factores abióticos en los siguientes rangos: altitudes entre 1.418 y 1.591 m, temperaturas entre 17 y 19 °C, volúmenes de precipitación entre 1.931 y 2.021 mm y humedad relativa entre el 85 y el 87 %.

Este estudio presenta la problemática fitosanitaria en un momento específico, y sus resultados no corresponden a un monitoreo a través del tiempo. Es importante resaltar que en las muestras colectadas en campo no se encontró presencia de enfermedades de tipo bacteriano, como raquitismo de la soca o escaldadura de la hoja. No obstante, se brinda información importante que podría aportar al diseño de programas de manejo integrado de enfermedades en el sistema productivo de caña de azúcar para la producción de panela.

Agradecimientos

La información que se presenta en este capítulo fue obtenida en la fase 1 del proyecto “Estrategias de manejo integrado de plagas y enfermedades asociadas a cultivos de caña de azúcar en regiones productoras de panela en Colombia”, financiado con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y ejecutado por AGROSAVIA. Se extiende un especial agradecimiento a los productores de caña de azúcar para panela, quienes permitieron el ingreso del equipo técnico a sus predios para adelantar esta investigación. A Cenicaña, y en especial al doctor Juan Carlos Ángel Sánchez, por su apoyo en el desarrollo de esta iniciativa de investigación a través del acceso a imágenes fotográficas y metodologías de identificación de las enfermedades en campo, así como en la detección de virus y bacterias. Al investigador máster de AGROSAVIA Gustavo Araujo Carrillo, por facilitar el acceso a los datos climáticos de calidad del repositorio del proyecto Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático de AGROSAVIA, que provienen del Ideam, así como por su aporte en la elaboración de la cartografía presentada en este trabajo.

Referencias

- Aday-Díaz, O. de la C., Montalván Delgado, J., Delgado Padrón, J., Puchades Izaguirre, Y., Rodríguez Lema, E. L., & Alfonso Terry, I. (2020). Orange rust disease progress in different plantation cycles of sugarcane in Cuba. *Sugar Tech*, 22, 1.057-1.062. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00843-w>
- Agnihotri, V. P. (1990). *Diseases of sugarcane and sugarbeet*. Oxford & IBH Publishing.
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5.^a ed.). Academic Press.
- Aigang, L., Tianming, W., Shichang, K., & Deqian, P. (2009). On the relationship between latitude and altitude temperature effects. En *IEEE* (Ed.), *2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology* (pp. 55-58). <https://doi.org/10.1109/esiat.2009.335>
- Ángel, J. C., Cadavid, M., & Victoria, J. I. (2010a). Incidencia de roya café (*Puccinia melanocephala*) en variedades de caña de azúcar en el valle del río Cauca, 2007-2010. *Carta Trimestral*, 32(3-4), 37-38. https://www.cenicana.org/pdf_privado/carta_trimestral/ct2010/ct3y4_10/ct3y4_10_p37-38.pdf
- Ángel, J. C., Cadavid, M., & Victoria, J. I. (2010b). *Presencia de roya naranja (Puccinia kuehnii) en el Valle del Cauca y estrategias para su manejo* [documento de trabajo n.º 715, primer informe de avance]. Cenicaña.
- Ángel Sánchez, J. C., Cadavid Ordóñez, M., & Ángel Calle, C. A. (2016). *Reconocimiento de las enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. Guía metodológica*. Cenicaña.
- Barrera, W., Hoy, J., & Li, B. (2012). Temperature and leaf wetness effects on infection of sugarcane by *Puccinia melanocephala*. *Journal of Phytopathology*, 160(6), 294-298. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2012.01904.x>
- Barrera, W., Hoy, J., & Li, B. (2013). Effects of temperature and moisture variables on brown rust epidemics in sugarcane. *Journal of Phytopathology*, 161(2), 98-106. <https://doi.org/10.1111/jph.12035>
- Cardozo Burgos, C. (2017). *Estimación de niveles de resistencia al virus de la hoja amarilla (SCYLV) mediante la técnica de PCR en tiempo real (RT-qPCR) en variedades de caña de azúcar* [tesis de doctorado,

- Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59467>
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia [Cenicaña]. (2023, 18 de enero). Servicio de diagnóstico de enfermedades. <https://www.cenicana.org/servicio-de-diagnostico-de-enfermedades-2/>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). (2015). *Informe final del producto 1. Departamento de Santander, proyecto Reducción del Riesgo de Adaptación al Cambio Climático* [documento interno].
- Guzmán, M. L., & Victoria, J. I. (2001). Servicio de diagnóstico de enfermedades de la caña de azúcar. *Carta Trimestral*, 23(1), 17-19. https://www.cenicana.org/pdf_privado/carta_trimestral/ct2001/ct1_01/ct1_01_p26-30.pdf
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019). *Alerta temprana fitosanitaria: roya naranja de la caña de azúcar y panelera en Colombia. Alerta amarilla* [Boletín n.º 10]. <http://www.ica.gov.co/multimedia/swf/revistavirtual/2015/alerta10.pdf>
- Insuasty Burbano, O., & Manrique Estupiñán, R. (1997). *Reconocimiento de enfermedades en caña panelera (Saccharum officinarum) en el sur del departamento de Santander*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21116>
- Kaiser, W. J., Ndimande, B. N., & Hawksworth, D. L. (1979). Leaf-scorch disease of sugarcane in Kenya caused by a new species of *Leptosphaeria*. *Mycologia*, 71(3), 479-492. <https://doi.org/10.1080/00275514.1979.12021031>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (s. f.). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) 2007 a 2018*. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/data>
- Osorio, G. (2007). *Manual técnico buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manufactura en la producción de caña y panela*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); MANA; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Ovalle, W. (2018). *Guía para la identificación de enfermedades de la caña de azúcar*. Cengicaña. <https://cengicana.org/files/20180323162522444.pdf>

- Pekarcik, A. J., & Jacobson, A. L. (2021). Evaluating sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae), population dynamics, feeding injury, and grain yield among commercial sorghum varieties in Alabama. *Journal of Economic Entomology*, 114(2), 757-768. <https://doi.org/10.1093/jee/toab013>
- Prusky, D., Freeman, S., & Dickman, M. B. (2000). *Colletotrichum: Host specificity, pathology, and host-pathogen interaction*. Amer Phytopathological Society.
- Ramírez Durán, J., Insuasty Burbano, O., & Murcia Pardo, M. L. (2014). *Variedades de caña de azúcar empleadas para la agroindustria panelera de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://hdl.handle.net/20.500.12324/12621>
- Rangel, M. P., Tabares, E., Lentini, Z., Tohme, J., Mirkov, E., Victoria, J., & Angel, F. (2002). Transformación de plantas de caña de azúcar susceptibles al síndrome de la hoja amarilla. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 4(1), 54-60. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/30090>
- Sanjel, S., Chaulagain, B., Small, I. M., Comstock, J. C., Hincapie, M., Raid, R. N., & Rott, P. (2018). Comparison of progress of brown rust and orange rust and conditions conducive for severe epidemic development during the sugarcane crop season in Florida. *Plant Disease*, 103(5), 825-833. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0862-RE>
- Saumtally, A. S., & Sullivan, S. (2000). Brown spot. En P. Rott, R. A. Bailey, J. C. Comstock, B. J. Croft, & A. S. Saumtally (Eds.), *A guide to sugarcane diseases* (pp. 77-80). Cirad; ISSCT.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9, 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Tarazona Parra, G. A. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la caña panelera: medidas para la temporada invernal*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://www.ica.gov.co/getattachment/6a54658e-1723-488d-a7ab-2f4baad793cb/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-cana-panele.aspx>
- Van Rensburg, N. J. (1973). Notes on the occurrence and biology of the sorghum aphid in South Africa. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, 36(2), 293-298. https://hdl.handle.net/10520/AJA00128789_3446

- Victoria, J. I., Guzmán, M. L., & Ángel, J. C. (1995). Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. En Cenicaña (Ed.), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 265-293). https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p3-394.pdf
- Victoria, J. I., Guzmán, M. L., Cuervo, E., & Lockhart, B. (1999). Síndrome de la hoja amarilla en Colombia. *Serie Divulgativa Cenicaña*, (7). https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_divulgativa/sd_07/sd_07.pdf
- Viswanathan, R. (2021). Red rot of sugarcane (*Colletotrichum falcatum* Went). *CABI Reviews*, 16(23), 2-57. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202116023>

