



SELECCIÓN DE CLONES Y PROGENITORES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA AL FITOPLASMA DEL AMARILLAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (SCYP)

Selection of clones and parents for the breeding of resistance to the sugar cane leaf yellows phytoplasma (SCYP)

Osmany de la C. Aday Díaz[✉], José M. Mesa López, Héctor Jorge Suárez, María La O Hechavarría, Félix R. Díaz Mujica, Irenaldo Delgado Mora, Ibis J. de Las Mercedes Gómez, Mayelín Morales Sarmiento, Francisco J. Barroso Medina y Luis F. Machado Toledo

ABSTRACT. The incidence of the disease «sugar cane leaf yellows phytoplasma (SCYP)», was evaluated in 733 clones of 26 biparental families of the breeding program of sugarcane of the year 2006 in Cuba. The objective was to determine in the Stage of Clonal lot 1, the incidence of the SCYP through natural infection in order to select resistant clones to this disease and also to identify the parents that give origin to progenies with low incidence of this disease. The natural infection by SCYP in the initial stages of the selection scheme increased with the age of the plant, as well as the severity of the disease. It was recorded the presence of symptoms in the 26,6 and 80,42 % respectively of the evaluated clones at 6 and 18 months of age, resulting that the natural infection could be used to select resistant clones to the SCYP. From all the studied combinations, C86-12 x B45181, C86-503 x B6368 and C86-456 x B45181, resulted the progenies with the lowest incidence of SCYP. The parents used as feminine C86-12 and C86-503 and those used as masculine B6368 and B45181, showed the lowest frequencies in incidence of SCYP in their descendants. The natural infection of the SCYP was grown in the parents of the biparental families evaluated, in most of them with high incidence.

Key words: sugar cane, phytoplasmas, disease resistance, plant breeding

RESUMEN. La incidencia de la enfermedad «amarillamiento de la hoja de la caña de azúcar (SCYP)», fue evaluada en 733 clones de 26 familias biparentales del programa de cruzamiento de caña de azúcar del año 2006 en Cuba. El objetivo fue determinar en la Etapa de Lote Clonal 1, la incidencia del SCYP por infección natural para seleccionar clones resistentes a esta enfermedad y además identificar los progenitores que dan origen a progenies con baja incidencia de esta enfermedad. La infección natural por el SCYP en las etapas iniciales del esquema de selección, se incrementó con la edad de la planta, lo mismo sucede con la severidad de la enfermedad. Se registró la presencia de síntomas en el 26,6 y 80,42 % de los clones evaluados a los 6 y 18 meses de edad respectivamente, demostrando que la infección natural podría ser usada para seleccionar clones resistentes al SCYP. De todas las combinaciones estudiadas, C86-12 x B45181, C86-503 x B6368 y C86-456 x B45181, dieron lugar a las progenies con más baja incidencia de SCYP. Los progenitores usados como femeninos C86-12 y C86-503 y los usados como masculinos B6368 y B45181, mostraron las frecuencias más bajas de incidencia de SCYP en su descendencia. La infección natural del SCYP se desarrolló en los progenitores de las familias biparentales evaluadas, en la mayoría de ellos con alta incidencia.

Palabras clave: caña de azúcar, fitoplasmas, resistencia a la enfermedad, mejoramiento de plantas

M.Sc. Osmany de la C. Aday Díaz y M.Sc. Félix R. Díaz Mujica, Investigadores Auxiliares; M.Sc. Irenaldo Delgado Mora, Investigador Agregado; Francisco J. Barroso Medina y Luis F. Machado Toledo, Especialistas de la Subdirección de Fitomejoramiento, Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara-Cienfuegos, Autopista Nacional, km 246, Ranchuelo, Villa Clara. CP 53100; Dr.C. José M. Mesa López, Dr.C. Héctor Jorge Suárez y Dra.C. María La O Hechavarría, Investigadores Titulares; M.Sc. Ibis J. de Las Mercedes Gómez, Investigador Auxiliar de la Subdirección de Fitomejoramiento, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), La Habana, Cuba, CP 19390; M.Sc. Mayelín Morales Sarmiento, Especialista de la Unidad de Gestión y Control, Delegación Provincial del CITMA de Villa Clara, Cuba, CP 50100.

✉ subdfito@epica.vc.azcuba.cu

INTRODUCCIÓN

En Hamakua (Hawaii) se observó a partir del año 1989 un conjunto de síntomas en *Saccharum officinarum* cultivar H65-7052 (caña de azúcar), denominado entonces síndrome de la hoja amarilla (YLS: del inglés *yellow leaf syndrome*), debido a que se desconocía el origen o las causas que lo producían (1).

Las plantas con este síndrome mostraban un amarillamiento intenso de la nervadura central de la hoja en la superficie del envés cuando la lámina de la hoja aún

permanecía verde, algunos cultivares exhibían una decoloración rojo-violáceo en la superficie del envés que posteriormente se continúa con una necrosis desde el ápice hasta la base de la hoja (1).

A nivel mundial, según datos del año 2000, se informó la presencia de YLS en más de 35 localidades productoras de caña de azúcar (2), y este número todavía sigue en aumento (3, 4). Dos patógenos, un virus y un fitoplasma, estarían asociados a los síntomas del YLS (5); no obstante, la bibliografía sugiere que el virus se ha extendido en mayor grado que el fitoplasma (6). Para diferenciar la enfermedad causada por virus de aquella causada por el fitoplasma, el Comité para los Nombres Comunes de Enfermedades de las plantas de la Sociedad Internacional de Patólogos de Plantas (ISPP) sugirió nombrar «la hoja amarilla» a la enfermedad causada por el virus (SCYLV: del inglés *sugar cane yellow leaf virus*), y «amarillamiento de la hoja» a la enfermedad causada por el fitoplasma (SCYP: del inglés *sugar cane yellow phytoplasma*). Dicha sugerencia fue aceptada por el Comité de Patología de la ISSCT en el 7th Taller de Patología del ISSCT que se llevó a cabo en Baton Rouge, Lousiana, en el 2003 (7).

En las pesquisas realizadas en Cuba, solo un pequeño porcentaje de cañas afectadas por el síndrome han presentado el virus (SCYLV)^{1,2}, mientras que en la mayoría se ha detectado el fitoplasma (SCYP) (8, 9, 10, 11). Los síntomas característicos de ambas enfermedades se han registrado sobre varios centenares de genotipos en etapas de posturas, lotes clonales, estudios replicados y estudios extensivos, donde se ha observado cierta relación entre el comportamiento de los progenitores y sus progenies (12). Ha sido informada la transmisión de SCYP por el vector *Saccharosydne saccharivora* (13), insecto frecuente en las áreas de caña de azúcar en Cuba. Ambos patógenos se transmiten a través de esquejes infectados y por insectos. Cabe señalar que los mismos no pueden ser eliminados mediante tratamiento en agua caliente. Sumado a esto, la obtención de plantas sanas es únicamente posible por medio del cultivo de tejidos, aunque después de un período de dos años la incidencia puede estar en un rango desde un 20 % hasta un 86 % a causa de la presencia de insectos vectores (5, 14).

En estudios realizados anteriormente en Cuba, se pudo conocer que la incidencia de SCYP se incrementa de la etapa de posturas a lote clonal 1 en un 3,5 % o más, debido al tiempo de exposición de los clones a los diferentes medios de transmisión (12) y solo se eliminan en cada una de las etapas del esquema de selección

aquellos clones con grado cuatro según la escala de China (2002) (12, 15). El número de individuos a evaluar se reduce en esta etapa en aproximadamente un 15 % a causa de la aplicación de criterios de selección (15) y se puede tener una representación adecuada de clones por cruces en estudio. Teniendo en cuenta estos elementos, se consideró el lote clonal 1, como la etapa más factible del esquema de selección para realizar el presente estudio.

Los objetivos fueron: 1) determinar en la etapa de lote clonal 1, la incidencia del SCYP por infección natural con la finalidad de seleccionar clones resistentes a esta enfermedad; y 2) identificar progenitores que den origen a progenies con baja incidencia de síntomas de SCYP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron seleccionados al azar 733 clones de 26 familias biparentales del programa de cruzamiento del año 2006, en etapa de posturas, en la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de la provincia de Villa Clara, Región Central de Cuba. Este programa forma parte del Proyecto Nacional «Programa comercial de obtención de nuevos cultivares de caña de azúcar para las principales regiones agroclimáticas».

En el mes de septiembre del año 2007, cada clon se plantó de forma individual, en la etapa de lote clonal 1, en parcelas de dos hileras de 17 metros, cada cuatro hileras de clones en estudio se plantaron hileras con material de plantación enfermo de los cultivares C87-51 y C120-78 y en las hileras del borde del experimento se plantó el cultivar C1051-73 también con material de plantación enfermo. Estos cultivares se consideran susceptibles al SCYP y fueron utilizados con el objetivo de propiciar condiciones favorables para la transmisión de la enfermedad a las plantas sanas por insectos vectores, a estas hileras se les denominó hileras de infección. Cada progenitor fue plantado en parcelas de 17 metros.

Para determinar la incidencia de los síntomas se realizaron tres evaluaciones, la primera a los siete meses de edad de plantado el estudio (abril), la segunda a los 18 meses (marzo) y la tercera en retoño 1 a 12 meses posteriores a la cosecha (abril), que son los meses de mayor incidencia de la enfermedad. Se realizó la observación visual de los síntomas, conjuntamente con la lectura del brix refractométrico del jugo de la nervadura central de la tercera hoja con cuello visible, constituyendo este un método de diagnóstico en condiciones de campo (10). Se empleó además la escala de cuatro grados de China (2002) (12).

En las evaluaciones fueron seleccionados al azar tres tallos de cada clon y de cada uno de ellos se separó la tercera hoja con cuello visible, seguidamente con un refractómetro de mano se midieron los sólidos totales (brix refractométrico) presentes en el jugo extraído de la sección base de la nervadura central (raquis) de cada

¹ Peralta, E. L.; China, A.; Arocha, Y. y Piñón, D. Estudio, diagnóstico y control del Síndrome de Amarillamiento Foliar de la Caña de Azúcar (YLS) en Cuba. Informe Final de Proyecto; Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. 1999. 150 p.

² Arocha, Y. Detección y caracterización molecular de los fitoplasmas asociados al Síndrome del Amarillamiento Foliar de la Caña de Azúcar (YLS) en Cuba. [Tesis de doctorado]. CENSA. 2000. 98 p.

hoja. Las mismas evaluaciones se realizaron en los progenitores. Un clon o progenitor se consideró infectado si cualquiera de las hojas alcanzaba un brix igual o mayor de 8,0. La incidencia (porcentaje de clones infectados) se determinó dividiendo el número de clones con síntomas entre el total de clones evaluados por cada cruce biparental, multiplicado por 100. La incidencia se calculó para cada familia biparental y para cada progenitor. Para determinar la severidad de los síntomas se aplicó la escala de cuatro grados (Tabla I) (12).

Tabla I. Escala empleada para evaluar la severidad del SCYP, según China (2002)

Grado	Descripción
1	No se observan síntomas de la enfermedad, brix refractométrico del raquis menor a 8. No hay evidencia de la enfermedad.
2	Coloración amarilla en el raquis por el envés, que puede abrirse hacia las láminas foliares; brix del raquis igual o mayor que 8 y menor igual que 14. Severidad baja.
3	La coloración amarilla ocupa toda la superficie foliar, se produce necrosis en las hojas del ápice hacia abajo; brix del raquis mayor que 14. Severidad media.
4	La coloración amarilla ocupa todo el follaje, la necrosis se extiende hacia el interior del tallo y al sistema radical, pueden morir varias plantas de una cepa y cepas completas; brix del raquis mayor que 14. Severidad alta.

En el procesamiento estadístico se realizó una comparación de proporciones (proporción binomial), con ayuda del paquete STATISTICA. Se procedió al análisis estadístico, con un intervalo de confianza al 95 %, comparando la media específica de cada cruce con la media de todos los cruces, y para cada progenitor femenino y masculino.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera evaluación realizada, de los 733 clones en estudio, 195 (26,60 %) presentaron síntomas de SCYP y valores de brix refractométrico en la nervadura central de la hoja superiores a ocho. Los porcentajes de clones infectados se presentan en la Tabla II.

Los clones de tres familias, C120-78 x B45181, Ja64-19 x C227-59 y B80250 x C227-59, presentaron la incidencia más alta de YLS, con 56,7, 81,48 y 86,21 % de clones infectados respectivamente. Los clones de las familias de C86-503 x B6368 y C86-456 x B45181, no presentaron síntomas en esta primera evaluación (Tabla II). En relación a la severidad observada, la mayoría de los clones infectados alcanzaron el grado 2 de la escala empleada, solo los clones infectados de las familias de C90-501 x Ja64-20 y POJ28-78 x Co997, alcanzaron el grado 3.

En la segunda evaluación realizada a los 18 meses después de plantado el experimento, 13 clones no fueron evaluables. De los 720 clones evaluados, 579 (80,42 %) presentaron síntomas del SCYP y valores de brix

refractométrico superiores a ocho en la nervadura central de la hoja, incrementándose el porcentaje de clones infectados en un 53,82 %, respecto a la evaluación anterior. Las progenies de Ja64-19 x C227-59 y B80250 x C227-59 fueron unas de las más afectadas de acuerdo al número de clones con síntomas de SCYP. El promedio de clones infectados de otras cuatro familias (C87-51 x B80250, C87-51 x C227-59, C227-59 x C120-78 y C133-81 x Ja64-11), también fue superior a la media de todos los cruces, llegando a presentarse síntomas de la enfermedad en algunos casos hasta en el 100 % de los clones evaluados. La más baja incidencia de la enfermedad en esta segunda evaluación se registró en los clones obtenidos a partir de los cruzamientos, C86-456 x B45181 y C86-12 x B45181, con menos del 50 % de clones con síntomas. Los clones de C86-503 x B6368, continuaron siendo de los menos afectados pero sin mostrar diferencias significativas en relación con el promedio de todos los cruces (Tabla III). A los 18 meses de plantado el experimento, el 79,21 % de los clones infectados alcanzaron el grado 2 y más del 50 % de las progenies de las familias C90-501 x Ja64-20, C227-59 x C120-78 y C133-81 x Ja64-11 fueron afectadas por YLS presentando la mayoría de los genotipos, grado 3. A los 12 meses después de la primera cosecha, fueron evaluados un total de 680 clones debido a la pérdida de otros 40 (afectación por carbón, pérdida del vigor y capacidad de rebrote). En esta última evaluación, el promedio de clones con síntomas de SCYP disminuyó a 68,10 %, la mayoría con grado 2 de severidad. En las progenies de C87-51 x B80250, C227-59 x C120-78, C133-81 x Ja64-11 y B80250 x C227-59, C120-78 x B45181 y C90-501 x B45211, como sucedió en las evaluaciones anteriores, se observó el mayor número de clones infectados, con valores que varían entre el 93 al 100 % en los dos últimos cruces, mostrando diferencias significativas en relación con la media de todos los evaluados. Además, se pudo identificar la existencia de cuatro familias (C86-503 x B6368, C86-12 x B45181, C90-501 x B45181 y C90-501 x Mex66-1235), que coincidentemente con las evaluaciones realizadas en caña planta con edades de siete y dieciocho meses, dieron lugar a las progenies con más baja incidencia de SCYP. Estas familias presentaron menos del 50 % de clones infectados (Tabla IV).

Los resultados de este trabajo obtenidos a través de la medición de la incidencia (expresada en porcentaje de clones infectados) y la severidad de la enfermedad (expresada en una escala de grado) indicaron por un lado, que la incidencia de SCYP se vio incrementada con la edad de las plantas, debido al tiempo de exposición al riesgo de infección y, por el otro, que la expresión de los síntomas es mayor en los meses de marzo y abril (Tablas II, III, IV). Dicha época coincide con el final de la estación invernal y con la máxima madurez de las plantas luego de un período de bajas temperaturas y escasas precipitaciones, estas condiciones podrían provocar estrés y susceptibilidad del cultivo a ciertas enfermedades y por ello el grado de severidad también aumentaría.

Tabla II. Incidencia del SCYP en las progenies evaluadas de los cruces biparentales de posturas del año 2006, a los siete meses de plantados

Progenitor		Clones evaluados	Clones infectados	% Clones infectados	P
Femenino	Masculino				
C90-501	Ja64-20	22	10	45,45	0,1651
C87-51	B80250	28	6	21,43	0,6506
C227-59	C120-78	28	10	35,71	0,4617
POJ2878	Co997	30	3	10,00	0,1002
C86-503	B6368	26	0	00,00 –	0,0046
C323-68	C187-68	29	6	20,69	0,5993
C86-165	B45211	29	7	24,14	0,8309
B45181	Ja64-19	23	5	21,74	0,6876
C133-81	Ja64-11	24	8	33,33	0,5965
B80250	C227-59	29	25	86,21 +	0,0000
C266-70	C227-59	30	7	23,33	0,7735
C87-51	C227-59	30	7	23,33	0,7735
C86-456	B45181	27	0	00,00 –	0,0040
CP52-43	B45181	30	8	26,67	0,9952
C120-78	B45181	30	17	56,67 +	0,0205
C86-456	CP70-1133	26	3	11,54	0,1616
C86-12	CP70-1133	30	8	26,67	0,9952
C90-501	CP70-1133	30	4	13,33	0,2045
C86-456	B45211	28	2	7,14	0,0518
C86-456	Mex66-1235	30	6	20,00	0,5517
C86-12	B45181	30	12	40,00	0,2800
Ja64-19	C227-59	27	22	81,48 +	0,0000
Ja64-19	My5514	28	3	10,71	0,1269
C90-501	B45181	30	8	26,67	0,9952
C90-501	B45211	30	3	10,00	0,1002
C90-501	Mex66-1235	29	5	17,24	0,3925
Total de clones		733			
Total de clones infectados			195		
Promedio de clones infectados				26,60	

26 familias

Las medias específicas de los cruces son marcadas con + si son significativamente más altas o con un – si son significativamente más bajas que la media de todos los cruces, prueba de comparación de proporciones (proporción binomial)

Las Tablas V y VI muestran la incidencia del SCYP en las progenies de progenitores femeninos y masculinos, respectivamente. Esta información puede resultar valiosa en la determinación de padres que producen descendencia con frecuencias más bajas de infección (16). Los resultados de la Tabla V indican cierta tendencia significativa ($p \leq 0,05$) del cultivar C86-503 a producir descendencias con baja incidencia del SCYP, cuando es usado como progenitor femenino. Esta tendencia tiende a ser más consistente para el cultivar C86-503, si comparamos la incidencia de los síntomas en su progenie con la tolerancia ante el SCYP cuando fue evaluado como progenitor en el propio experimento (Tabla VII).

El promedio de clones con síntomas de SCYP, también fue bajo cuando este fue utilizado como femenino, en las progenies de C323-68, C86-12, C86-456. Los progenitores femeninos que dieron lugar a las progenies con promedios de infección más bajos en relación a la media de todos los clones evaluados (Tabla V), podrían ser tenidos en cuenta en los programas de mejoras de cultivares resistentes al SCYP, aun cuando se desconoce el tipo de acción génica y la heredabilidad de esta patología. Los progenitores empleados como femeninos, C87-51, C227-59, C133-81, B80250, C266-70, CP52-43, C120-78 y Ja64-19, dieron lugar a progenies con mayor incidencia a la enfermedad.

Tabla III. Incidencia del SCYP en las progenies evaluadas de los cruces biparentales de posturas del año 2006, a los 18 meses de plantados

Progenitor		Clones evaluados	Clones infectados	% Clones infectados	P
Femenino	Masculino				
C90-501	Ja64-20	21	20	95,45	0,1233
C87-51	B80250	26	25	96,30	0,0721
C227-59	C120-78	28	28	100,00 +	0,0138
POJ2878	Co997	30	27	90,00	0,3182
C86-503	B6368	26	18	69,23	0,3425
C323-68	C187-68	29	26	89,66	0,3271
C86-165	B45211	26	25	92,59	0,1940
B45181	Ja64-19	20	19	82,61	0,8477
C133-81	Ja64-11	22	22	100,00 +	0,0279
B80250	C227-59	26	25	93,10	0,1727
C266-70	C227-59	30	23	76,67	0,7284
C87-51	C227-59	30	30	100,00 +	0,0109
C86-456	B45181	27	12	44,44 -	0,0057
CP52-43	B45181	30	27	90,00	0,3022
C120-78	B45181	30	22	73,33	0,7735
C86-456	CP70-1133	25	19	66,67	0,2549
C86-12	CP70-1133	30	21	70,00	0,3596
C90-501	CP70-1133	26	17	62,96	0,1533
C86-456	B45211	28	22	78,57	0,8639
C86-456	Mex66-1235	25	22	81,48	0,9219
C86-12	B45181	30	20	44,44 -	0,0048
Ja64-19	C227-59	26	26	100,00 +	0,0174
Ja64-19	My5514	28	26	92,86	0,1713
C90-501	B45181	30	20	66,67	0,2368
C90-501	B45211	26	17	58,62	0,0809
C90-501	Mex66-1235	28	23	82,14	0,8689
Total de clones		720			
Número clones infectados			579		
Promedio de clones infectados				80,42	

Las medias específicas de los cruces son marcadas con + sin son significativamente más altas o con un - si son significativamente más bajas que la media de todos los cruces, prueba de comparación de proporciones (proporción binomial)

La incidencia del SCYP en las progenies evaluadas de progenitores masculinos, fue más baja que la media de todos los cruces (tanto en caña planta de 18 meses o en el primer retoño con 12 meses), en los clones de B6368 y B45181, mientras que la mayor incidencia se registró en los clones de B80250, C120-78, Ja64-11 y C227-59 (Tabla VI). En estas familias más del 50 % de los clones infectados presentaron el grado 4 de la escala.

Un total de 100 clones fueron seleccionados teniendo en consideración la ausencia de síntomas de SCYP, de carbón, roya y escaldadura, tanto en caña planta como en retoño, también se consideró el vigor de los tallos. Estos clones seguirán en estudio en la etapa de lote clonal 2, según esquema de selección del INICA en Cuba (15). Al evaluar los progenitores (Tabla VII), se pudo observar mayor incidencia de SCYP a los 18 meses de edad en relación con los resultados de la evaluación realizada a los siete meses en caña planta y 12 meses en primer retoño; la incidencia y la severidad de la enfermedad se incrementó con la edad de la planta. Un grupo reducido de tres cultivares presentaron menos de 50 % de tallos infectados, ellos fueron Mex66-1235, C86-165 y C323-68 que además fueron afectadas hasta el grado 2 de la enfermedad, aunque solo del cultivar C323-68 se obtuvo

una baja frecuencia de clones con síntomas de SCYP cuando fue usado como progenitor femenino.

En los cultivares Co997, Ja64-19, Ja64-11, C227-59 y CP52-43 desde los siete meses de edad fue observada la mayor incidencia de los síntomas de la enfermedad, en ellos, además la enfermedad alcanzó el grado 3 de la escala, con valores de brix superiores a 15 en la nervadura central de la hoja.

Las evaluaciones realizadas en el presente estudio permitieron concluir que la infección natural por el SCYP en las etapas iniciales del esquema de selección, se incrementa con la edad de la planta (tiempo de exposición), lo mismo sucede con la intensidad de la enfermedad expresada en la escala de cuatro grados, registrándose la presencia de la enfermedad en el 26,6 y 80,42 % de los clones evaluados a los seis y dieciocho meses de edad respectivamente (Tablas II y III), lo cual demuestra que la infección natural podría ser usada para seleccionar clones resistentes al amarillamiento de la hoja. Se concluye además que la infección natural del SCYP se desarrolló en los progenitores de las familias biparentales evaluadas y que la mayoría de ellos presentaron alta incidencia de la enfermedad y diferencias en relación con el grado de severidad.

Tabla IV. Incidencia del SCYP en las progenies evaluadas de los cruces biparentales de Posturas del año 2006, a los 12 meses posteriores a la primera cosecha

Progenitor		Clones evaluados	Clones infectados	% Clones infectados	P
Femenino	Masculino				
C90-501	Ja64-20	22	16	72,73	0,7267
C87-51	B80250	27	26	96,30 +	0,0069
C227-59	C120-78	24	24	100,00 +	0,0024
POJ2878	Co997	11	8	72,73	0,7789
C86-503	B6368	25	9	36,00 –	0,0217
C323-68	C187-68	28	13	46,43	0,1081
C86-165	B45211	27	15	55,56	0,3478
B45181	Ja64-19	23	17	73,91	0,6552
C133-81	Ja64-11	22	22	100,00 +	0,0036
B80250	C227-59	29	27	93,10 +	0,0207
C266-70	C227-59	27	24	88,89	0,0758
C87-51	C227-59	30	18	60,00	0,5294
C86-456	B45181	27	13	48,15	0,1413
CP52-43	B45181	28	25	89,29	0,0557
C120-78	B45181	30	27	90,00 +	0,0416
C86-456	CP70-1133	26	15	57,69	0,4372
C86-12	CP70-1133	28	24	85,71	0,1231
C90-501	CP70-1133	27	24	88,89	0,0646
C86-456	B45211	28	12	42,86	0,0625
C86-456	Mex66-1235	27	18	66,67	0,9116
C86-12	B45181	25	7	28,00 –	0,0042
Ja64-19	C227-59	26	23	88,46	0,070
Ja64-19	My5514	27	13	48,15	0,1413
C90-501	B45181	29	7	24,14 –	0,0011
C90-501	B45211	29	26	89,66 +	0,0481
C90-501	Mex66-1235	28	10	35,71 –	0,0173
Total de clones		680			
Número clones infectados			463		
Promedio de clones infectados				68,10	

Las medias específicas de los cruces son marcadas con + si son significativamente más altas o con – si son significativamente más bajas que la media de todos los cruces, prueba de comparación de proporciones (proporción binomial)

Los progenitores usados como femeninos C323-68, C86-12, C86-456 y C86-503 conjuntamente con los usados como masculinos B6368 y B45181, mostraron cierta tendencia a la producción de una parte de la descendencia que probablemente no presentaría síntomas de SCYP o resultarían tolerantes.

Los resultados coinciden con los obtenidos en estudios realizados sobre esta patología en diferentes etapas del esquema de selección durante los últimos años (12), donde se identificó la presencia de la enfermedad en aproximadamente el 6,8 % de los clones, a partir de la etapa de posturas (*seedling*) y del 10,5 % en etapa de lote clonal. Los resultados del presente estudio muestran alta incidencia y rápida propagación del SCYP en condiciones de campo en la etapa de lote clonal 1 y coinciden en ese sentido con los resultados de los estudios de clones del programa de desarrollo de variedades de Canal Point (Florida, EU) (19), ellos determinaron una rápida infección de plantas por SCYLV, en la fase posturas (*seedling*), al menos el 2 % de infección (incidencia) después de los seis meses de edad de exposición en el campo; mientras que los clones en estado I y estado II la infección alcanzó 30 y 38 %,

respectivamente, después de 1,2 y 2,5 años de exposición (17). La incidencia del SCYP en las etapas iniciales del esquema de selección, implica la necesidad de evaluar la habilidad combinatoria de los progenitores para la resistencia a esta enfermedad y la heredabilidad de este carácter en las progenies, aspectos estos aún desconocidos.

En Cuba la presencia del SCYP ha sido detectada en plantaciones comerciales de todas las provincias (11, 18) y con una incidencia muy similar a la de SCYLV en otros países (14). La propagación del SCYP alcanza un 39 % en la región central y el 36 y 26 % en la occidental y oriental respectivamente (18); la presencia de los síntomas en las provincias de Villa Clara y Cienfuegos fue detectada en el 87,15 y 90,5 % de los campos evaluados, respectivamente, con una incidencia promedio entre 38 % y 47 %, así como en la mayoría de las variedades comerciales (19); lo que indica un alto nivel de inóculo y de infección natural. Los resultados hasta la fecha en el país, demuestran la necesidad de buscar fuentes de resistencia a SCYP y de realizar los estudios pertinentes con ese fin.

Tabla V. Incidencia del SCYP en las progenies evaluadas de progenitores femeninos de posturas del año 2006, a los 18 meses de plantados y en retoño de 12 meses

Progenitor Femenino	18 meses				Retoño de 12 meses			
	Clones evaluados	Clones infectados	% Clones infectados	P	Clones evaluados	Clones infectados	% Clones infectados	P
C90-501	136	98	72,06	0,267	135	83	61,48	0,438
C87-51	57	56	98,25 +	0,002	57	44	77,19	0,312
C227-59	28	28	100,00 +	0,013	24	24	100,00 +	0,001
POJ2878	30	27	90,00	0,264	11	8	72,73	0,767
C86-503	26	18	69,23	0,285	25	9	36,00 –	0,010
C323-68	29	26	89,66	0,289	28	13	46,43	0,071
C86-165	27	25	92,59	0,161	27	15	55,56	0,292
B45181	23	19	82,61	0,827	23	17	73,91	0,624
C133-81	22	22	100,00 +	0,026	22	22	100,00 +	0,002
B80250	29	27	93,10	0,131	29	27	93,10 +	0,012
C266-70	30	23	76,67	0,696	27	24	88,89 +	0,048
C86-456	112	76	67,86	0,115	108	58	53,70	0,108
CP52-43	30	27	90,00	0,264	28	25	89,29 +	0,040
C120-78	30	22	73,33	0,471	30	27	90,00 +	0,029
C86-12	57	33	57,89 –	0,015	53	31	58,49	0,336
Ja64-19	54	52	96,30 +	0,012	53	36	67,92	0,985
Total de clones	720				680			
Número clones infectados		579				463		
Media de clones infectados			80,42				68,10	

17 progenitores femeninos

Las medias específicas de los cruces son marcadas con + si son significativamente más altas o con un – si son significativamente más bajas que la media de todos los cruces, prueba de comparación de proporciones (proporción binomial)

Tabla VI. Incidencia del SCYP en las progenies evaluadas de progenitores masculinos de posturas del año 2006, a los 18 meses de plantados y en retoño de 12 meses

Progenitor Masculino	18 meses				Retoño de 12 meses			
	Clones evaluados	Clones infectados	% Clones infectados	P	Clones evaluados	Clones infectados	% Clones infectados	P
Ja64-20	22	21	95,45	0,099	22	16	72,73	0,696
B80250	27	26	96,30	0,055	27	26	96,30 +	0,004
C120-78	28	28	100,00 +	0,012	24	24	100,00 +	0,002
Co997	30	27	90,00	0,256	11	8	72,73	0,765
B6368	26	18	69,23	0,272	25	9	36,00 –	0,008
C187-68	29	26	89,66	0,281	28	13	46,43	0,063
B45211	84	64	76,19	0,566	84	53	63,10	0,565
Ja64-19	23	19	82,61	0,827	23	17	73,91	0,617
Ja64-11	22	22	100,00 +	0,025	22	22	100,00 +	0,003
C227-59	115	106	92,17 +	0,028	112	92	82,14+	0,049
B45181	144	93	64,58 –	0,036	139	79	56,83	0,169
CP70-1133	87	58	66,67	0,083	81	63	77,78	0,225
Mex66-1235	55	45	81,82	0,854	55	28	50,91	0,077
My5514	28	26	92,86	0,140	27	13	48,15	0,089
Total de clones	720				680			
Número clones infectados		579				463		
Media de clones infectados			80,42				68,10	

14 progenitores femeninos

Las medias específicas de los cruces son marcadas con + si son significativamente más altas o con un – si son significativamente más bajas que la media de todos los cruces, prueba de comparación de proporciones (proporción binomial)

Tabla VII. Incidencia del SCYP en los progenitores de las progenies evaluadas, en cada momento de evaluación

Cultivar Progenitor	Planta 7 meses*			Planta 18 meses*			Retoño 12 meses**		
	% TI	BMAXh	Grado	% TI	BMAXh	Grado	% TI	BMAXh	Grado
B45181	0,0	0,0	1	100,00	11,0	2	100,00	8,6	2
B45211	6,6	14,0	2	73,30	10,0	2	80,00	10,6	2
B6368	46,6	9,2	2	93,30	14,0	2	93,30	9,6	2
B80250	53,3	10,0	2	100,00	11,0	2	100,00	8,4	2
Co997	100,0	14,2	3	100,00	19,0	3	100,00	13,0	2
CP52-43	100,0	12,4	2	100,00	16,0	3	100,00	10,6	2
CP70-1133	20,0	8,2	2	100,00	11,4	2	100,00	10,8	2
C87-51	50,0	9,0	2	100,00	22,0	3	100,00	17,6	3
C227-59	100,0	13,0	2	100,00	16,2	3	100,00	11,4	2
C187-68	73,3	9,0	2	100,00	12,4	2	100,00	6,4	1
C323-68	26,6	9,0	2	46,60	11,0	2	0,00	7,0	1
C266-70	53,3	9,0	2	93,30	10,0	2	20,00	8,0	2
C1051-73*	10,0	9,0	2	100,00	17,0	3	100,00	15,6	3
C120-78	66,6	12,2	2	100,00	17,2	3	100,00	14,4	3
C133-81	13,3	8,2	2	66,60	12,6	2	20,0	8,0	2
C86-12	60,0	10,0	2	86,60	13,4	2	86,60	9,4	2
C86-165	20,0	8,8	2	46,60	8,8	2	0,00	7,0	1
C86-456	13,3	8,2	2	100,00	16,2	3	0,00	6,8	1
C86-503	13,3	8,4	2	53,30	14,0	2	0,00	7,0	2
C90-501	33,3	8,2	2	100,00	18,2	3	100,00	8,6	2
Ja64-11	100,0	11,6	2	100,00	18,4	3	100,00	12,6	2
Ja64-19	100,0	14,2	3	100,00	15,4	3	100,00	14,4	3
Ja64-20	86,6	11,0	2	100,00	18,0	3	100,00	10,6	2
My5514	5,6	9,0	2	40,60	12,0	2	0,00	7,4	2
Mex66-1235	13,3	8,2	2	33,30	10,0	2	80,00	9,8	2
POJ2878	13,3	8,4	2	100,00	15,0	3	20,0	9,0	2

*C1051-73 plantada en hileras de infección

%TI: Porcentaje de tallos infectados

Grado: Grado de la Escala de China (2002) (12)

Número de tallos evaluados por cultivar: 15

BMAXh: Brix refractométrico Máximo de la Hoja evaluada

**Edad en el momento de la evaluación, meses después de la plantación o la cosecha

No existen referencias en la literatura consultada sobre estudios similares acerca del SCYP en otros países. La búsqueda de resistencia se ha centrado fundamentalmente en la evaluación de las colecciones de germoplasma (5, 7, 12). La obtención de los clones resistentes seleccionados en esta investigación, así como la selección de padres que pueden dar origen a progenies con resistencia al SCYP, alientan a la búsqueda de material resistente y podrían utilizarse en programas de mejoramiento para ser usados como parentales, en estudios de heredabilidad y búsqueda de genes de resistencia.

CONCLUSIONES

- ◆ La infección natural por el SCYP en las etapas iniciales del esquema de selección, se incrementó con la edad de la planta, lo mismo sucede con la severidad de la enfermedad.
- ◆ Se registró la presencia de la enfermedad en la etapa de lote clonal 1, el 26,6 y 80,42 % de los clones evaluados a los seis y dieciocho meses de edad respectivamente, demostrando que la infección natural podría ser usada para seleccionar clones resistentes al SCYP.

- ◆ De todas las combinaciones estudiadas, C86-12 x B45181, C86-503 x B6368 y C86-456 x B45181, dieron lugar a las progenies con más baja incidencia de SCYP.
- ◆ Los progenitores usados como femeninos C86-12 y C86-503 y los usados como masculinos B6368 y B45181 mostraron las frecuencias más bajas de incidencia de síntomas de SCYP en su descendencia.
- ◆ La infección natural del SCYP se desarrolló en los progenitores de las familias biparentales evaluadas, la mayoría de ellos presentaron alta incidencia de la enfermedad con diferencias entre ellos en cuanto al grado de severidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los técnicos Susana Reyes Pérez y Javier Barroso Medina, técnicos de la Subdirección de Fitomejoramiento de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara-Cienfuegos, por su participación en las evaluaciones del experimento y calidad de la labor realizada.

REFERENCIAS

1. Schenck, S. Pathology report 67. *Hawaii Agriculture Research Center*, 1997. 4 p.
2. Rott, P.; Bailey, R. A.; Constuck, J. C.; Croft, B. J. and Sauntally, A. S. A guide to sugarcane diseases. Centre do cooperation internationals en recherché agronomique pour le development (CIRAD) and International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) Montpellier, France, 2000. 339 p.
3. Ávila, R.; Arrieta, M. C.; Villalobos, W.; Moireira, L.; Lockhart, B. E. L. y Riera, C. First report of Sugarcane yellow leaf irus (ScYLV) in Costa Rica. *Plant Diseases*, 2001, no. 85, 919 p.
4. Garces, F. F.; Balladarez, C.; Quiridumbay, G. y Muñoz, C. Diagnosis of leaf fleck, leaf scald, mosaic, ratoon stunting disease in commercial fields and quarantine in Ecuador. *Proceedings International Society Sugar Cane Technologists*, 2005, no. 25, p. 695-700.
5. Rott, P.; Mirkov, T. E.; Schenck, S. y Girard, J. C. Recent advances in research on sugarcane yellow leaf virus, the causal agent of sugarcane yellow leaf. *Sugar cane International*, 2008, vol. 26, no. 3, p. 18-22.
6. Smith, G. R.; Braithwaite, K. S. y Cronjé, C. P. R. The viral and phytoplasma forms of yellow leaf syndrome of sugarcane. *Proceedings International Society Sugar Cane Technologists*, 2001, no. 24, p. 614-617.
7. Rott, P.; Comstock, J. C.; Croft, B. J.; Kusalwong, A. y Sauntally, S. A. Advances and challenges in sugarcane pathology. *Proceedings International Society Sugar Cane Technologists*, 2005, no. 25, p. 607-614.
8. Arocha, Y.; González, L.; Peralta, E. L. y Jones, P. First report of virus and phytoplasma pathogens associated whit yellow leaf syndrome of sugarcane in Cuba. *Plant Disease*, 1999, no. 83, 1177 p.
9. Arocha, Y.; Jones P.; Sumac, I. y Peralta, E. L. Detección de fitoplasmas asociados al síndrome de la hoja amarilla en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 2000, no. 15, p. 81-87.
10. Arocha, Y.; Peralta, E. L. y Jones, P. Validación del sistema de diagnóstico molecular de fitoplasmas asociados con el síndrome del amarillamiento foliar de la caña de azúcar (YLS) en Cuba y su comparación con el método de campo. *Revista Protección Vegetal*, 2004, vol. 19, no. 1, p. 19-25.
11. Arocha, Y.; Almeida, R.; Peralta, E. L.; Carvajal, O. y Jones, P. Update data on distribution of yellow leaf syndrome (YLS) in Cuba. *Revista Protección Vegetal*, 2005, vol. 20, no. 2, p. 1-5.
12. China, A.; Pérez, G.; Aday, O.; Cabrera, L.; Pérez, J. R.; Carvajal, O.; China, A.; Barroso, G.; Arocha, Y.; Hidalgo, Y. y Ruffin, Y. Comportamiento del germoplasma de la caña de azúcar ante el Síndrome de la hoja amarilla en Cuba. En: Congreso Científico del INCA (16:2008, noviembre 24-28, La Habana), Memorias CDRM, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2008. ISBN 978-959-16-0953-3: 5 p.
13. Arocha, Y.; López, M.; Fernández, M.; Piñol, B.; Horta, D.; Peralta, E. L.; Almeida, R.; Carvajal, O.; Picornell, S.; Wilson, M. R. y Jones, P. Transmission of a sugarcane yellow leaf phytoplasma by the delphacid planthopper *Saccharosydne saccharivora*, a new vector of sugarcane yellow leaf syndrome. *Plant Pathology*, 2005, no. 54, p. 634-642.
14. Abu Ahmad, Y.; Royer, M.; Daugrois, J. H.; Costet, L.; Lett, J. M.; Victoria, J. I.; Girard, J. C. y Rott, P. Geographical Distribution of Four Sugarcane Yellow Leaf Virus Genotypes. *Plant Disease*, 2006, vol. 90, no. 9, p. 1156-1160.
15. Jorge, H.; González, R.; Casas, M. A y Jorge, I. Normas y procedimientos de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar. Boletín N° 1, Caña-INICA, 2002. 315 p. ISBN 1028-6527.
16. Contock, J. C.; Tai, P. Y. P. y Miller, J. D. Identification of parents for breeding sugarcane yellow leaf and ratoon stunt resistant cultivars. *Proceedings International Society Sugar Cane Technologists*, 2007, vol. 26, p. 978-987.
17. Contock, J. C.; Tai, P. Y. P. y Follis, J. E. Incidence of and resistance to sugarcane yellow leaf virus in Florida. *Proceedings International Society Sugar Cane Technologists*, 1999, vol. 23, p. 366-372.
18. Arocha, Y.; Piñol, B.; Peralta, E. L.; Almeida, R.; Picornell, B. y Jones, P. Biodiversidad y distribución de los fitoplasmas asociados con el síndrome del amarillamiento foliar (YLS) en Cuba. *Revista Fitosanidad*, 2006, vol. 21, no. 1, p. 8-15.
19. Aday, O.; China, A.; Díaz, F. R.; Gil, Y.; Carmenate, L. y Morales, M. Incidencia del síndrome de la hoja amarilla de la caña de azúcar (YLS) en plantaciones comerciales de Villa Clara y Cienfuegos. *Revista ATAC*, 2009, no. 3, p. 33-44.

Recibido: 21 de abril de 2011

Aceptado: 28 de agosto de 2012