

ESTUDIOS INTERMEDIOS DE SELECCION DE SOMACLONES TOLERANTES A LA SALINIDAD

P. Díaz, R.H. Maribona, O. Coto, O. Barquie,* R. Cabrera,* R. Mitchell y H. Leonard.

*Bioplantas, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y 158, Playa, Apdo. Postal 6990, Ciudad de La Habana, *Estación Provincial de la Caña de Azúcar, Guantánamo, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba.*

Recibido: 16 de julio de 1996.

RESUMEN. Se estudió un grupo de ocho somaclones de caña de azúcar obtenidos a partir de la variedad C 87-51, en una etapa intermedia de selección en condiciones de suelos salinos. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado al azar con tres réplicas de cada somaclón previamente seleccionado en un lote clonal como tolerantes en un tenor de sal entre 3 000 y 5 000 ppm. Se estudió la caña planta y primer retoño. Los caracteres evaluados fueron: brix, pol en jugo, pol en caña, pureza, densidad de población, rendimiento agrícola y rendimiento industrial. Los somaclones más destacados en condiciones salinas fueron el CC 19-84, CC 54-84, CC 56-84 y CC 59-84.

ABSTRACT. A group of eight sugarcane somaclones obtained from variety C 87-51, in an intermediate selection stage in saline soil conditions was studied. A completely randomized design with three replications for every somaclone previously selected in the clonal stage as tolerants in the salt level between 3 000 and 5 000 ppm was used. The cane plant was studied and the first ratoon as well: brix, pol in juice, pol in cane, juice purity, stalk density, cane yield and industry yield were evaluated. The best somaclones in saline condition were CC 54-84, CC 56-84 y CC 59-84.

INTRODUCCION

En Cuba el área agrícola destinada al cultivo de la caña de azúcar abarca cerca de 1 500 000 ha, de las cuales se encuentran dañadas por la salinidad unas 270 000. La provincia de Guantánamo es una de las regiones más perjudicadas: el área cañera en tierras salinizadas alcanza unas 17 000 ha, pertenecientes a tres centrales azucareros.

Por estas razones, la recomendación de variedades con un comportamiento superior en esas condiciones, así como la búsqueda de fuentes genéticas de osmotolerancia para emplear en el mejoramiento cañero constituyen objetivos del mayor peso en esta actividad en Cuba.

De manera general, cuando se habla de selección de variedades para suelos salinos, se tiende a circunscribirla a la presencia de una determinada cantidad de sal en el suelo, que causa efectos tóxicos en los cultivos y disminuye sus rendimientos. Sin embargo, la distribución natural de la sal en el suelo en forma de mosaico, conduce a que en unos casos, los esquemas de selección para este carácter contemplen diseños poco comunes¹ y en otros se extrapolen de otros objetos de mejora aunque en ambas variantes no se contemplan las variaciones témporo-espaciales de los iones en el suelo.^{2,3} En la fase clonal de los genotipos estudiados en el presente trabajo, se tuvo en cuenta el valor de los contenidos de sales donde creció cada genotipo, así como un grupo de indicadores bioquímicos y agroindustriales en la selección de los somaclones por su buen comportamiento en condiciones de estrés salino (3 000 a 5 000 ppm).⁴ Posteriormente, en los estudios intermedios de selección se ejecutó un diseño de experimento que permitió estudiar de manera simultánea las variaciones témporo-espaciales de los iones en el suelo en tres niveles de salinidad.⁵

El objetivo del trabajo consistió en seleccionar en los estudios intermedios en suelos salinos, los somaclones más destacados según sus resultados agroindustriales.

MATERIALES Y METODOS

Material vegetal

En cada uno de los tres niveles de sal microlocalizados y en un diseño completamente aleatorizado, fueron distribuidas tres réplicas de un grupo de ocho somaclones de la variedad C 87-51, previamente seleccionados en lote clonal por su tolerancia al estrés salino.⁴

Se estudió la caña planta (18 meses) y primer retoño (12 meses) entre noviembre de 1991 y junio de 1994. Los caracteres evaluados fueron: brix (grados), pol en jugo (%), pol en caña (%), pureza (%), densidad de población (tallos/m), rendimiento agrícola ($t_{caña}$ / ha) y rendimiento industrial (t_{pol} / ha) (2)

Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis de varianza de clasificación doble con arreglo bifactorial.⁶ Las medias se compararon según la prueba de Newman-Keuls. Se utilizó el paquete Statistic, versión 4.0.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caña planta

De las variables de rendimiento estudiadas, los grados brix y el porcentaje de pureza presentaron diferencias significativas entre los genotipos, entre los niveles de sal y no en la interacción. El porcentaje de pureza no mostró diferencias significativas entre los somaclones y los donantes (Tabla I).

La Ja 60-5 mostró los mayores valores de los grados brix, seguida por el donante C 87-51. Los mejores somaclones fueron CC 70-84 y CC 3-84, aunque inferiores al donante. La C 87-51 es una variedad de alto contenido azucarero,⁷ aunque es susceptible a la salinidad.⁴ El aumento de los grados brix en el tercer nivel pudo estar ocasionado por la acumulación o concentración de azúcares debido a la deshidratación de la célula.

TABLA I
Valores promedios de las variables que mostraron
diferencias entre genotipos.
Experimento en condiciones salinas.
Cepa caña planta, 18 meses de edad

Genotipo	Brix (°)	Pureza (%)
CC 3-84	20,49 cd	87,35 ab
CC 19-84	18,69 g	87,55 ab
CC 54-84	19,71 defg	87,33 ab
CC 56-84	20,16 cdef	87,14 ab
CC 59-84	19,59 defg	88,42 a
CC 70-84	20,76 c	86,90 ab
CC 72-84	19,37 efg	86,66 ab
CC 74-84	19,21 fg	86,51 ab
C 87-51	21,48 b	88,27 a
C 266-7019,63	defg	84,72 b
Ja 60-5 2	22,24 a	88,07 a
C 111-79	20,30 cde	84,63 b
\bar{X}	20,14	86,96
E.S.M.	0,76	2,2
Significación	***	**
CV (%)	3,8	2,5

*, **, *** $p \leq 0,05$; 0,01 y 0,001 respectivamente.

Valores con letras distintas difieren significativamente según la prueba de Newman-Keuls.

Las variables **porcentaje de pol en jugo y en caña, densidad de la población, rendimiento agrícola e industrial**, mostraron interacción significativa de los genotipos con el nivel de sal, por lo que fue necesario hacer la recomendación de genotipos, atendiendo al nivel de sal en que se desarrollaron (Tabla II).

TABLA II
Valores promedios de las variables que mostraron
diferencias entre niveles de sal.
Cepa primer retoño, 12 meses de edad

Nivel	Brix (°)	Pureza	Pol _J	Pol _C
			(%)	
I	20,76 a	82,49 a	17,10 a	15,16 a
II	18,28 a	72,87 a	15,04 a	13,08 a
III	12,45 b	49,37 b	10,09 b	8,83 b
\bar{X}	17,16	68,24	14,08	12,36
E.S.M.	6,81	27,19	5,604,	96
Significación	***	***	***	***
CV (%)	39,7	39,8	39,8040	,20

*, **, *** $p \leq 0,05$; 0,01 y 0,001 respectivamente.

Niveles con letras distintas difieren significativamente según la prueba de Newman-Keuls.

J Jugo; C Caña.

Las variaciones significativas encontradas en el **porcentaje de pol en jugo y caña**, no mostraron en general una tendencia acorde con el aumento de los contenidos de sal en el suelo. Los somaclones CC 3-84, CC 54-84, CC 56-84 y CC 70-84 mantuvieron un comportamiento similar al donante C 87-51 en el primer y segundo nivel de sal. En el tercer nivel fueron los somaclones CC 59-84 y CC 70-84 los de mayor contenido azucarero. La C 266-70, testigo de tolerancia, pre-

sentó niveles más bajos del contenido azucarero, lo cual coincide con lo reportado por otros autores.³

La **densidad de población** de todos los somaclones en los tres niveles de sal, igualó al donante, al testigo de tolerancia y al de rendimiento. Los aumentos encontrados en esa variable de los somaclones con respecto al donante fundamentalmente en el primer nivel de sal, no fueron significativos estadísticamente. Las diferencias encontradas entre los diferentes testigos tampoco fueron significativas.

En el **rendimiento agrícola** de la caña planta en el primer nivel de sal, los somaclones CC 54-84, CC 70-84 y CC 72-84 igualaron o superaron al donante C 87-51, y juntos al CC 19-54, CC 56-84, CC 59-84 y CC 74-84 no difirieron del patrón de rendimiento Ja 60-5. Los somaclones CC 54-84 y CC 70-84 llegaron a igualar los rendimientos de la C 266-70, patrón de tolerancia a la salinidad. En el segundo nivel de sal se notó una disminución de los valores de rendimiento aunque se observó que los genotipos mantuvieron un comportamiento similar. Para este nivel la C 266-70re sultó la más destacada.

En el tercer nivel de sal, se encontraron los rendimientos agrícolas más bajos; sin embargo, todos los somaclones igualaron o superaron al donante C 87-51. El CC 3-84, CC 54-84, CC 74-84 y CC 56-84 rindieron más que la C 266-70, testigo de tolerancia y la Ja 60-5 testigo de rendimiento.

Para el rendimiento industrial en el primer nivel, los somaclones CC 54-84 y CC 70-84, igualaron a la C 266-70 y superaron a la Ja 60-5 y al donante C 87-51. En el segundo nivel de sal se mantiene un resultado similar, ya que la CC 54-84, CC 70-84, C 266-70 y Ja 60-5 no difieren estadísticamente para el rendimiento industrial. En el máximo nivel de sal se encontraron los valores más pequeños. En estas condiciones, los somaclones más destacados fueron: CC 3-84, CC 54-84, CC 56-84, CC 59-84 y CC 74-84 los cuales igualaron o superaron a todos las variedades testigos.

Primer retoño

La selección de los genotipos en el primer retoño adquiere una importancia decisiva por el efecto acumulativo de la sal en la planta.² Algunos genotipos fundamentalmente en el tercer nivel, no lograron germinar o no presentaron valor agronómico para la cosecha. Esto hizo que se observara un aumento en los coeficientes de variación de las variables estudiadas (Tabla II). Similares comportamientos se presentaron en la fase clonal donde las variaciones de los indicadores en estudio estuvieron entre un 30y un 40% debido a este estrés salino acumulativo.⁴

Para esta cepa las variables **grados brix, porcentajes de pureza y de Pol** en jugo y en caña, sólo lograron manifestar variaciones entre los niveles de sal, observándose el efecto más drástico en el Nivel III (Tabla III).

Las variables **densidad de población, rendimientos agrícola e industrial** presentaron interacción entre los genotipos y los niveles de sal (Tabla II).

Del primero al segundo nivel de sal, se encontró una tendencia al aumento en el número de tallos en la mayoría de los individuos. En el tercer nivel esto no ocurrió, por el contrario, se observó una disminución ocasionada por el efecto de la sal. Sin embargo, estos incrementos no se correspondieron con un aumento en los rendimientos agrícolas o industriales en los que presentaron daños severos en el tercer nivel (Tabla II). En la evaluación *in vitro* para la tolerancia a la salinidad en genotipos de caña de azúcar para el estrés salino, se ha encontrado también un aumento del número de tallos al aumentar los niveles de estrés hasta determinados valores en que esta respuesta se invierte.^{8,9}

TABLA III
Valores promedios de las variables que mostraron interacciones entre genotipos y niveles de sal

Genotipo	Nivel de sal	Caña planta					Primer retoño		
		Pol _J	Pol _C	Densidad población	Rendimiento		Densidad población	Rendimiento	
		(%)		(tallo / m)	(t _{caña} / h a)	(t _{pol} / ha)	(tallo / m)	(t _{caña} / h a)	(t _{pol} / h a)
CC 3-84	I	18,28 a-d	16,00 a-e	14,67 ab	48,81 e-h	7,80 cd	20,6 ab	30,70 a	4,75 ab
CC 19-84	I	16,98 b-f	14,87 b-g	12,33 ab	55,06 def	8,18 bcd	18,5 ab	23,93 a-d	3,47 a-g
CC 54-84	I	17,80 a-f	15,17 a-g	14,33 ab	77,78 a	12,12 a	13,1 a-e	31,49 a	4,39 abc
CC 56-84	I	17,92 a-e	15,55 a-g	14,67 ab	54,90 def	8,54 bc	15,8 a-e	21,75 a-d	3,27 a-g
CC 59-84	I	16,84 b-f	14,73 b-g	14,00 ab	55,64 def	8,21 bcd	13,1 a-e	20,99 a-e	3,12 a-g
CC 70-84	I	18,48 abc	16,28 a-d	15,33 ab	72,11 ab	11,74 a	16,7 abc	29,82 ab	5,44 a
CC 72-84	I	16,56 b-f	14,49 c-g	14,00 ab	62,15 cd	9,01 bc	15,8 a-e	21,58 a-d	3,14 a-g
CC 74-84	I	15,46 ef	13,53 g	14,00ab	55,28 def	7,43 c-f	11,8 a-e	15,70 a-h	2,27 b-h
C 87-51	I	18,85 ab	16,64 ab	11,00 b	60,32 cd	10,3 b	16,2 abc	23,85 a-d	3,64 a-e
C 266-70	I	17,48 a-f	15,30 a-g	14,67 ab	77,50 a	11,91 a	12,4 a-c	14,98 a-h	2,21 b-h
Ja 60-5	I	19,63 a	17,18 a	16,33 ab	57,44 de	9,87 b	13,8 a-d	22,68 a-d	3,59 a-f
C 111-79	I	15,32 b-g	15,23 a-g	10,67 b	67,51 bc	9,98 b	16,2 abc	31,39 a	4,69 ab
CC 3-84	II	18,02 a-d	15,77 a-f	14,33 ab	36,15 ijk	5,70 f-i	9,7 a-e	12,62 a-h	1,84 b-h
CC 19-84	II	16,90 b-f	13,78 fg	14,67 ab	42,42 ghi	5,85 e-i	16,3 abc	28,39 ab	3,91 a-d
CC 54-84	II	17,33 a-f	15,17 a-g	13,33 ab	53,98 def	8,22 bcd	13,4 ab	29,25 ab	4,24 abc
CC 56-84	II	17,71 a-f	15,49 a-g	17,00ab	41,21 ghi	6,38 d-h	16,0abc	17,07 a-g	2,61 a-h
CC 59-84	II	16,76 b-f	14,67 b-g	20,00 a	44,14 ghi	6,47 d-g	17,5 abc	21,90 a-d	2,03 b-h
CC 70-84	II	18,94 ab	16,05 a-e	12,33 ab	54,56 def	8,77 bc	18,1 abc	18,50 a-g	2,85 a-h
CC 72-84	II	17,24 a-f	15,08 b-g	12,00 ab	47,67 e-h	7,19 c-f	17,8 abc	19,33 a-f	2,73 a-h
CC 74-84	II	15,74 def	13,77 fg	12,67 ab	39,76 hij	5,49 g-h	23,2 ab	26,32 abc	3,94 a-d
C 87-51	II	18,26 a-d	15,98 a-e	17,33 ab	46,09 fgh	7,36 c-	21,4 ab	19,40 a-f	2,94 a-h
C 266-70	II	16,01 c-d	14,07 efg	18,33 ab	61,30 cd	8,63 bc	24,1 ab	29,54 ab	4,28 abc
Ja 60-5	II	19,56 a	17,19 a	13,00 ab	47,57 e-h	8,18 bcd	13,5 a-d	15,92 a-h	2,60 a-h
C 111-79	II	17,41 a-f	15,23 a-g	11,67 ab	49,46 efg	7,53 cde	20,3 ab	23,86 a-d	3,42 a-g
CC 3-84	III	17,39 a-f	15,22 b-g	13,33 ab	29,08 k-n	4,41 i-l	1,4 de	4,17 fgh	0,60 e-h
CC 19-84	III	16,37 b-f	14,32 d-g	14,67 ab	24,94 l-o	3,58 klm	4,0c de	12,60 b-h	1,75 b-h
CC 54-84	III	16,53 b-f	14,46 c-g	10,33 ab	32,89 jkl	4,78 h-k	13,8 a-d	15,68 a-h	1,53 c-h
CC 56-84	III	17,06 b-f	14,93 b-g	11,67 b	28,25 k-n	4,21 i-m	17,2 abc	15,38 a-h	2,33 b-h
CC 59-84	III	18,41 abc	16,11 b-e	16,00 ab	27,80 k-n	4,48 i-l	19,4 ab	16,73 a-g	1,66 b-h
CC 70-84	III	18,16 a-d	16,90 a-e	12,67 ab	22,64 m-p	3,59 klm	1,3 de	2,50 gh	0,36 gh
CC 72-84	III	16,58 b-f	15,01 b-g	13,33 ab	18,45 op	2,6 lm	1,3 de	3,27 fgh	0,49 fgh
CC 74-84	III	18,23 a-d	15,96 b-e	13,33 ab	29,55 klm	4,71 h-k	8,4 b-e	9,63 c-h	0,97 d-h
C 87-51	III	18,73 ab	16,39 b	15,33 ab	19,83 nop	3,28 klm	11,4 a-e	7,53 d-h	0,89 d-h
C 266-70	III	16,03 c-f	14,47 ef	10,00 b	27,99 k-n	3,93 j-m	11,3 a-e	9,32 c-h	1,27 c-h
Ja 60-5	III	19,58 a	17,17 a	12,00 ab	24,18 mno	4,15 i-m	4,0 cde	4,70 e-h	0,73 e-h
C 111-79	III	17,46 a-f	15,10 def	12,33 ab	15,85 p	2,43 i-m	0,0 e	0,00 h	0,00 h
\bar{X}		17,51	15,33	13,82	44,73	6,86	6,07	18,12	2,61
E.S.M		0,82	0,67	2,67	3,64	0,7	2,31	5,62	1,01
Significación		***	***	**	***	***	***	***	**
CV (%)		4,7	4,4	19,3	8,1	10,3	33,5	31,0	38,50

*, **, *** p ≤ 0,05; 0,01 y 0,001 respectivamente.

Genotipos con letras disitintas difieren significativamente según la prueba de Newman-Keuls.

J Jugo; C Caña.

Estos resultados hacen suponer que la caña de azúcar presenta una respuesta inicial ante este estrés, que se corresponde con un ahijamiento lateral para garantizar la supervivencia de la cepa, hasta determinados niveles de sal en los que el daño se hace letal. Por esta razón, resulta difícil solamente con este indicador recomendar genotipos, sin tener en cuenta el rendimiento agrícola.

En cebada se observó también que la tolerancia a la salinidad en la fase de emergencia resulta muy superior a la obtenida por la producción del grano, los caracteres ligados a la calidad de este tienen una tolerancia a la salinidad dos veces superior a la de los caracteres ligados al rendimiento (producción del grano y biomasa).¹⁰

Analizando el rendimiento agrícola, se observó que la mayoría de los somaclones en el primer nivel de sal, presentó un comportamiento similar o superior al donante, C 87-51 y al testigo de tolerancia, C 266-70 respectivamente. Los somaclones CC 3-84, CC 54-84, CC 70-84 y la variedad C 111-79 presentaron los mejores resultados para este nivel de sal (Tabla II).

Para el segundo nivel de sal, los somaclones CC 19-84 y CC 54-84 presentaron una respuesta similar al testigo de tolerancia, C 266-70 y operaron al donante C 87-51 y al Ja 60-5, testigo de rendimiento. Los genotipos CC 19-84, CC 54-84 y CC 56-84, CC 59-84 confirmaron ser los más destacados en sus rendimientos agrícolas, a pesar del tercer nivel de sal, superando a los otros testigos.

Los valores de los rendimientos industriales alcanzados no fueron altos, debido a las condiciones en que se desarrolló el experimento. Los somaclones como el CC 3-84, CC 54-84 y CC 70-84 fueron los más destacados para el primer nivel de sal, el resto manifestó un comportamiento similar al donante C 87-51. Para el segundo nivel, todos los genotipos presentaron un comportamiento similar, sólo resaltaron el CC 54-84 y la C 266-70. En el tercer nivel de sal se encontró el mismo resultado: los somaclones CC 19-84, CC 54-84, CC 56-84 y CC 59-84 fueron genotipos mejores que el donante C 87-51 y que los testigos C 266-70 y Ja 60-5 (Tabla II).

En las condiciones en que se desarrolló el experimento se vio que de las variables estudiadas, las más afectadas fueron las de rendimiento agrícola e industrial.

De manera general, se confirmó que somaclones obtenidos por un esquema de selección *in vitro* a la salinidad, seleccionados en un lote de posturas al Norte de Villa Clara y que se destacaron también en el lote clonal en suelo salino de Guantánamo,⁵ resultaron destacados en altos niveles de salinidad en este estudio intermedio de regionalización. Es decir, el carácter mejorado *in vitro*, se ha mantenido durante 10 años de ensayos en condiciones naturales.

Sin embargo, los esquemas de selección no deben basarse en el valor de los materiales "resistentes", que sobrevivieron, en comparación con los materiales "muertos" o que "el valor de algunos granos producidos" en materiales resistentes referidos a otros que "no produjeron granos". La variación en los casos extremos puede mostrar una alta signifi-

ficación y un control simplemente genético, pero su valor práctico puede ser nulo.¹¹

Una solución práctica puede ser la evaluación de diferentes cultivos agrícolas y materiales genéticos bajo un intervalo de niveles de salinidad no letales y buscar la respuesta en función de niveles de intensidad del estrés en términos de producción económica o pérdidas.

Finalmente, los estudios de interacción genotipo-ambiente permitirán proponer posteriormente, aquellos genotipos realmente adaptados a ambientes desfavorables.

CONCLUSIONES

Los somaclones más destacados en el ambiente salino, teniendo en cuenta los resultados de los rendimientos agrícolas e industriales, en las dos cepas estudiadas fueron el CC 19-84, CC 54-84, CC 56-84 y CC 59-84.

De los indicadores estudiados, los **rendimientos agrícola e industrial** fueron los que mejores destacaron las diferencias entre los genotipos acorde a los diferentes niveles de sal.

La **densidad de población**, si bien mostró diferencias significativas entre genotipos, vale aclarar que estas variaciones no permitieron discriminar genotipos en función de los diferentes niveles de sal.

BIBLIOGRAFIA

- Gregorio G.B. y Senadhira D. **Theor. Appl. Genet.**, **86**, 333, 1993.
- Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar Normas y Procedimientos del mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba, Ministerio de la Industria Azucarera, Cuba, 1987.
- Cabrera R., Barquie O., Cervera G., Lorenzo R., Herrera L.M. y Pérez Milián J. Respuesta de la caña de azúcar a la salinidad en el suelo. Informe de cierre del quinquenio 1986-1990. Estación Provincial de la Caña de Azúcar de Guantánamo, Ministerio de la Industria Azucarera, 1990.
- Díaz P., Maribona R.H., Korneva S., Ruiz A., Coto O., Ancheta O. y Ramos-Leal M. **Revista GEPLACEA**, 1995 (en imprenta).
- Díaz P., Maribona R.H., Cabrera R., Coto O., Arce J., Barquie O., Cervera G. y Lorenzo R. **Revista CENIC Ciencias Biológicas**, 1995 (en imprenta).
- Scheffe H. *Analysis of Variance*. John Wiley and Sons Inc. London, 1967.
- Maribona R.H., Korneva S., Coto O., Ruiz A., Díaz P., Pedraza E., Jorge H., Acosta P.P., Acosta E. y Delgado A. **Rev. CENIC Ciencias Biológicas**, **24**, 10, 1993.
- Díaz P. y Maribona R.H. Respuesta *in vitro* a la salinidad de un grupo de híbridos comerciales de la caña de azúcar. Resúmenes del XI Seminario Científico del Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de La Habana, Cuba, 1995.
- Díaz P., Guía Y. y Cornide M. T. **Rev. CENIC Ciencias Biológicas**, 1995 (sometido).
- Royo A., Aragües R. y Susia V. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*, **6**, 7, 1991.
- Blum A. *Plant Breeding for stress environments*. Ed. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 177, 1987.