

MODIFICACIONES Y DESAFÍOS EN EL PROCESO DE HIBRIDACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN COSTA RICA.

Juan Pablo Carvajal Quesada¹, J
José Roberto Durán Alfaro²

Resumen.

El programa de variedades de caña de azúcar de la sigla LAICA, tiene como objetivo generar nuevos cultivares que presenten rendimientos agroindustriales superiores a las variedades que se están cultivando comercialmente, en las distintas regiones cañeras del país y que vengan a reemplazar también aquellas variedades que presentan deterioro por condiciones bióticas y abióticas. El objetivo del presente trabajo es describir las modificaciones que se han venido implementando por parte de este programa, tendientes a tener más éxito a la hora de realizar los cruzamientos genéticos, así como mencionar el enfoque que se le pretende dar hacia el futuro a esta línea de producción de variedades nacionales. En los últimos años, se estableció un banco de variedades para utilizar como progenitores, el cual se encuentra a pocos kilómetros del lugar donde se montan los cruces, en la Estación Experimental de DIECA en Grecia, lo que facilita el trabajo y genera menos deterioro de los tallos florecidos a la hora de transportarlos para realizar los cruces. También se implementó el uso del margullo, el cual consiste en colocar una bolsa de polietileno en los tallos femeninos, en el momento de hacer los cruces, la cual se llena con una mezcla de tierra y abono orgánico, esto con el fin de producir raíces en uno o dos entrenudos de este tallo, lo que ha permitido obtener una mayor cantidad de plántulas o “seedlings” por cruce, y una mayor efectividad de los cruces realizados. Además, se ha venido trabajando en la inducción de floración mediante el uso de luz artificial a campo abierto. Con estas modificaciones se pretende poder realizar más cruces por año y obtener semilla sexual de mayor calidad, capaz de ofrecer un mayor número de plántulas por gramo. Dentro de los desafíos que el programa de variedades se plantea, está el producir y evaluar en el campo una mayor cantidad de plántulas, así como realizar un mayor número de cruces por año, para de esta forma aprovechar un poco más el potencial genético que se posee en el país, esto con el fin de obtener nuevas variedades de alta concentración de azúcar, las cuales se adapten a los cambios climáticos de nuestra región.

Palabras claves: mejoramiento genético, margullo, inducción, floración

¹ Ingeniero Agrónomo, funcionario del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Programa de Variedades. Grecia, Costa Rica. E-mail: pcarvajal@laica.co.cr. Teléfono (506) 2494-1129/ (506) 2494-7555.

² Ingeniero Agrónomo, funcionario del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Jefe Programa de Variedades. Grecia, Costa Rica. E-mail: jduran@laica.co.cr. Teléfono (506) 2494-1129/ (506) 2494-7555.

Introducción.

La explotación comercial de la caña de azúcar inicio hace más de 100 años con variedades de las especies *Saccharum officinarum* y *S. sinense*, tales como cristalina, Castilla, Rayada, Blanca, Othaheiti, Cayanna, Uba, entre otras (Castillo y Silva 2004, Cassalett y Ranjel 1995). Es hasta inicios del siglo XX en Barbados, que logran demostrar la fertilidad del género *Saccharum*, dando con esto al inicio de los programas de cruzamientos interespecíficos en Java e India, entre las diversas especies del género y su posterior obtención de la famosa variedad POJ 2878, como el primer híbrido comercial (Ríasco *et al.* 2003, Castillo y Silva 2004).

La caña de azúcar moderna (*Saccharum* spp.), son híbridos provenientes de cruza de las diferentes especies, pero predominando *S. officinarum* y *S. spontaneum*, por sus características de alto contenido azucarero y la rusticidad, las cuales fueron retrocruzadas varias veces con el padre "noble" *S. officinarum*, en un proceso conocido como "nobilización," a fin de minimizar el efecto negativo del padre silvestre *S. spontaneum*; también se utilizaron otras especies silvestres para introducir genes de resistencia a enfermedades, incrementar la fibra y el azúcar, como las especies *S. sinense*, *S. barberi* y *S. robustum* (Ríasco *et al.* 2003, CENGICAÑA 2012, Castillo y Silva 2004, Chaves 2016).

El mejoramiento genético de la caña de azúcar tiene como objetivo modificar y aprovechar la variación genética, con el propósito de obtener variedades que satisfagan las necesidades cañeras, como es el caso en Costa Rica, donde se presentan heterogéneas condiciones climáticas, edáficas y de manejo, prevalecientes en las seis regiones productoras de caña de azúcar (Chaves 2016, CENGICAÑA 2012, Castillo y Silva 2004).

El programa de variedades de LAICA inicio el proceso de cruzamientos genéticos en el año 1998, donde se empezaron a utilizar los progenitores que mostraban las mejores características agroindustriales, mediante el mejoramiento genético convencional como es descrito por (Durán *et al.* 2018). En sus inicios se comenzó evaluando 12.000 plántulas en promedio por año, pero a través del tiempo se ha venido incrementando el número de seedlings, pasando a evaluar actualmente 35.000 plántulas por año, con un promedio de selección de 0,75% en los viveros primarios (Alfaro y Oviedo 2015).

Los cruzamientos genéticos de caña de azúcar tienen 20 años de haberse iniciado en Costa Rica, siendo uno de los programas existentes más jóvenes, pero en este corto tiempo se ha logrado seleccionar variedades LAICA con características agroindustriales sobresalientes, que les permite competir con las variedades importadas, convirtiéndose así en una buena alternativa para las distintas regiones cañeras del país, demostrando así que invertir en un programa de mejoramiento genético, es el pilar de una agroindustria con miras al futuro. Actualmente en las

fases más avanzadas en las distintas regiones, se encuentran un total de 101 variedades de caña de azúcar, donde el 70% corresponden a materiales nacionales sigla LAICA, esto debido a que presentan las características agroindustriales más favorables (LAICA 2018).

Como lo indica Carballoso *et al.* (2015) el mejoramiento genético es el responsable de lograr incrementar la producción mediante cultivares más eficientes y productivos, además de aumentar la variabilidad genética de los híbridos, al incrementar el número de progenitores y cruzamientos.

Objetivo.

El objetivo del presente trabajo es describir las últimas modificaciones que se han implementado en el programa de selección de variedades nacionales sigla LAICA, así como mencionar los desafíos que se plantean hacia futuro en esta línea de selección de variedades LAICA.

Modificaciones.

A continuación, se presentarán las modificaciones que el programa de variedades ha implementado en los últimos años con el fin de aumentar la cantidad y calidad de las plántulas (seedlings).

Banco de Progenitores.

En la actualidad el programa de variedades cuenta con un banco de germoplasma compuesto por 1.045 materiales provenientes de 4 continentes, 71 siglas diferentes y procedentes de 28 países alrededor del mundo, el cual se ubica en San Miguel de Cañas Guanacaste 10°20' 70" Latitud Norte y 85°09'37" Longitud Oeste), a una altitud de 10 msnm (Carvajal y Durán 2018). Este banco se encuentra a tres horas de la estación experimental de DIECA en Grecia, Alajuela, que es el lugar que está acondicionado para realizar los cruzamientos.

Por la dificultad que representa el trasladar inflorescencias desde el banco de germoplasma a la estación experimental en Grecia y montar así los cruzamientos, en el año 2015 se decidió sembrar un pequeño jardín de variedades sobresalientes para utilizarlas como progenitores, este se ubicó en un terreno propiedad de LAICA en el Roble de Puntarenas, a una Latitud norte 9°59'16.86" y longitud oeste 84°44'09.04" y una altitud de 9 msnm. Se escogió esta finca pensando que, si se lograba obtener una buena floración en las variedades, posteriormente se podrían acondicionar instalaciones para realizar los cruzamientos en este lugar. Durante dos años se evaluó la presencia de floración en las variedades y al final se determinó que este lugar no reúne las mejores condiciones para que se manifieste la floración en caña de azúcar.

Con base en estos resultados, se continuó en la búsqueda de un área con condiciones de luz y temperatura más apropiadas, para que de forma natural se manifieste la floración en la mayor cantidad de variedades de caña de azúcar. Es así como se determinó que la finca El Porvenir ubicada en Cataluña de Grecia, reúne muy buenas condiciones y por lo tanto se logró negociar el préstamo de un terreno de 3.610 m², el cual está a una altitud de 738 msnm. Esta altitud es muy similar a la que tiene uno de los dos bancos de variedades que posee CENGICAÑA en Guatemala, que es justamente donde ellos obtienen mayor floración, el cual se ubica en la estación experimental Los Tarros (14° 23' 29" latitud Norte y 760 msnm).

De esta forma en el año 2017 se estableció en este lote en la finca El Porvenir, un banco de variedades para utilizar como progenitores en el programa de variedades de LAICA, en total en este primer año se sembraron 138 materiales distintos (Cuadro y figura 1) los cuales fueron seleccionados por sus buenas características agronómicas e industriales. Durante este primer año 2017 se evaluó la presencia de floración en las variedades sembradas, encontrando que, de las 138 variedades, 88 manifestaron floración, para un porcentaje de 63,76 en ciclo planta, lo que corrobora que este lugar realmente posee buenas condiciones para que se manifieste la floración.



Figura 1.

Foto satelital del área destinada a floración en finca del Ingenio El Porvenir en Cataluña de Grecia.

Cuadro 1.

**Variedades de caña de azúcar seleccionadas como progenitores en el área de cruzamientos
 en finca el Porvenir, Grecia 2017**

1	B 60-267	24	CP 10-2147	47	CT 10340	70	LAICA 06-328	93	LAICA 11-37	116	MEX 83-419
2	B 82-430	25	CP 10-2474	48	CT 10468	71	LAICA 06-367	94	LAICA 12-331	117	NA 56-26
3	B 96-018	26	CP 11-2103	49	CT 11055	72	LAICA 07-09	95	LAICA 12-337	118	PR 80-2038
4	BJ 83-19	27	CP 11-2163	50	CT 11649	73	LAICA 07-20	96	LAICA 12-340	119	PR 86-2027
5	BO 17	28	CP 12-1174	51	CT 11689	74	LAICA 07-26	97	LAICA 12-341	120	Q 132
6	BR 96-002	29	CP 12-1357	52	CT 12098	75	LAICA 07-27	98	LAICA 12-343	121	Q 96
7	BT 84-118	30	CP 12-1993	53	CT 13747	76	LAICA 07-309	99	LAICA 12-58	122	RB 00-2700
8	Co 421	31	CP 12-2285	54	CT 13759	77	LAICA 08-22	100	LAICA 12-59	123	RB 00-2925
9	Co 976	32	CP 72-2086	55	CT 14442	78	LAICA 09-384	101	LAICA 12-62	124	RB 01-2046
10	Co 977	33	CP 78-1247	56	CT 14443	79	LAICA 09-606	102	LAICA 12-63	125	RB 05-1501
11	Co 980	34	CP 80-1557	57	CT 14456	80	LAICA 10-10	103	LAICA 12-64	126	RB 86-7515
12	CP 00-2150	35	CP 81-1425	58	CT 9786	81	LAICA 10-13	104	LAICA 12-66	127	RB 92-579
13	CP 01-2060	36	CP 87-1248	59	CT 9844	82	LAICA 10-16	105	LAICA 12-68	128	RB 94-2898
14	CP 04-1566	37	CP 89-2376	60	EROS	83	LAICA 10-207	106	LAICA 12-87	129	RB 94-3047
15	CP 08-2210	38	CP 90-1549	61	L 74-52	84	LAICA 10-30	107	LAICA 12-92	130	RB 96-1003
16	CP 09-1007	39	CP 90-1602	62	L 98-113	85	LAICA 10-34	108	LAICA 13-64	131	RB 96-1552
17	CP 09-1028	40	CP 93-1011	63	LAICA 01-604	86	LAICA 10-39	109	LAICA 13-76	132	RB 98-710
18	CP 09-1246	41	CP 94-1100	64	LAICA 03-805	87	LAICA 10-40	110	LAICA 13-77	133	RB 98-8507
19	CP 09-1256	42	CP 94-1432	65	LAICA 04-10	88	LAICA 10-68	111	LAICA 13-78	134	RB 99-381
20	CP 09-1874	43	CP 94-1975	66	LAICA 04-809	89	LAICA 10-804	112	LAICA 13-81	135	RD 75-01
21	CP 10-1310	44	CPCL 05-1102	67	LAICA 04-825	90	LAICA 10-809	113	MEX 65-1424	136	TCP 87-3388
22	CP 10-1448	45	CPCL 06-3417	68	LAICA 05-805	91	LAICA 11-055	114	MEX 69-290	137	UCW 54-63
23	CP 10-2029	46	CT 10333	69	LAICA 06-321	92	LAICA 11-27	115	MEX 79-431	138	V 71-39

Ubicación y características climáticas del lugar en donde se ubica este banco o jardín de variedades.

La Finca el Porvenir está dedicada al cultivo de café y caña de azúcar, encontrándose aquí mismo un pequeño ingenio azucarero el cual lleva ese mismo nombre, esta se ubica en Cataluña de Grecia, Alajuela, latitud norte 10°00'57" y longitud oeste 84°18'49", a una altitud de 738 msnm.

Esta finca cuenta con suelos del orden Utisol e Inceptisol, y exactamente dónde se encuentra la parcela con las variedades, es del orden Inceptisol y del suborden Ustepts. La temperatura media es de 23,1 °C con una precipitación anual de 2.254 mm, donde los meses más lluviosos son setiembre y octubre con una marcada época seca de mediados de diciembre hasta mediados de abril (cuadro 2).

Como se logra observar (Cuadro 2), las temperaturas mínimas y máximas son de 17,4 y 30,1 °C respectivamente, lo que indica una variabilidad baja entre estas, lo que genera excelentes condiciones para la floración.

Cuadro 2.
Condiciones climáticas en finca El Porvenir en Cataluña de Grecia, promedio últimos 10 años

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media (°C)	23	23,1	23,8	24,2	23,7	23	23,2	23	22,9	22,6	22,7	22,5
Temperatura min (°C)	17,4	17,2	17,8	18,4	18,6	18,4	18,5	18,2	18,1	18	18,1	17,4
Temperatura máxima (°C)	28,6	29,1	29,9	30,1	28,8	27,7	27,9	27,9	27,7	27,3	27,3	27,7
Precipitación 2.254 mm	7	13	12	65	306	305	250	305	385	409	164	33

Ampliación del banco de variedades.

Los resultados de floración obtenidos el año anterior fueron muy satisfactorios, por lo que para este año 2018 se decidió ampliar este jardín de variedades y es así como se incorporaron 42 materiales nuevos, seleccionados por buenas características agroindustriales y resistencia o tolerancia a enfermedades, dentro de estas se incluyeron 12 variedades provenientes del banco de variedades Hawaianas que posee el ingenio Juan Viñas, con el fin de ver si se logra floración en algunas de ellas, para posteriormente utilizarlas en cruces, cuyas plántulas se puedan dirigir a esas mismas condiciones de altitud, arriba de los 1.000 msnm y poder así buscar nuevas variedades LAICA para llenar esa necesidad.

Con estas 42 incorporaciones, el banco ya cuenta con un total de 180 variedades, quedando espacio para nuevas siembras el próximo año.

Cuadro 3.

Variedades de caña de azúcar incorporadas al banco de cruzamientos en 2018 Finca El Porvenir, Cataluña Grecia

1	B 47-44	10	H 44-3098	19	H 77-4643	28	LAICA 08-390	37	LAICA 16-303
2	B 50-377	11	H 57-5174	20	H 78-2313	29	LAICA 09-370	38	LAICA 16-49
3	B 76-259	12	H 61-1721	21	H 78-4143	30	LAICA 09-374	39	NA 85-1602
4	B 76-385	13	H 62-4671	22	LAICA 00-301	31	LAICA 09-375	40	NCo 376
5	B 77-95	14	H 65-7052	23	LAICA 04-250	32	LAICA 10-207	41	RB 73-9735
6	B 80-689	15	H 68-1158	24	LAICA 05-109	33	LAICA 15-53	42	SP 81-3250
7	B 82-333	16	H 72-1365	25	LAICA 05-133	34	LAICA 15-65		
8	B 89-138	17	H 74-1715	26	LAICA 05-802	35	LAICA 15-71		
9	B 96-018	18	H 77-2545	27	LAICA 07-203	36	LAICA 15-98		

Utilización de Margullo.

Esta es una segunda modificación que se hizo en el programa de variedades nacionales, el cual se utiliza al momento de montar los cruzamientos en la Estación Experimental de LAICA en Grecia. El margullo, o el embolsado del tallo es un término empleado por los cubanos, es una técnica que se viene empleando en algunos programas de mejoramiento genético de caña de azúcar; la cual consiste en colocar una bolsa de polietileno cubriendo uno o dos nudos de los tallos de los progenitores femeninos al momento de hacer los cruces y es llenada con una mezcla de tierra, abono orgánico y arena en proporción 2:1:1; la misma fue descrita por Caraballosa *et al.* (2015). Durante el tiempo que permanece el margullo en el tallo, se debe aplicar agua por lo menos una vez por semana para conservar la humedad.

El margullo se empezó a utilizar por el programa de variedades de LAICA, en los cruzamientos efectuados en la campaña del año 2015, por lo que su efectividad fue evaluada en la germinación obtenida con la semilla sexual o “fuzz” que se sembró en el año 2016. Es importante mencionar que los cubanos lograron **triplicar** la cantidad de plántulas o “seedlings” obtenidos en cruces iguales, solo que en uno utilizaban esta técnica y en el otro no.



Una prueba similar se estableció en la estación experimental de DIECA en Grecia, en donde se sembró semilla sexual obtenida en tres cruces distintos, los cuales se montaron con margullo y sin margullo, tal y como se detalla en el cuadro 3. Los resultados obtenidos en esta prueba fueron muy positivos, ya que de la semilla sexual proveniente de los cruces en donde se utilizó el margullo, se obtuvo un incremento en la cantidad de plantas por gramo de semilla sembrada, el cual varió entre 77,9 y el 2800 por ciento. Aunque la variabilidad encontrada es muy alta, se logra definir que la utilización del margullo es muy favorable para realizar los cruces. Como lo indica Caraballosa *et al.* (2015),

las raíces que se producen dentro del margullo, nutren la planta y asumen el suministro de alimentos, algo que se hace crítico en las etapas finales del cruce, al perder su capacidad de absorción.

Cuadro 4.
Evaluaciones realizadas al margullo

Año	Cruce	Hembra	Macho	Semilla obtenida (g)	% de aumento (g) Semilla/flor	Margullo	N. plantas	Plantas por gramo	% Efectividad
2016	04-15	LAICA 08-22	PR 80-2038	33,20	125,76	Si	2206	66,45	177,90
2016	04-15	LAICA 08-22	PR 80-2038	26,4	100,00	No	1240	46,97	100
2016	05-15	Mex 79-431	CG 04-1441	24,7	121,08	Si	619	25,06	884,29
2016	05-15	Mex 79-431	CG 04-1441	20,4	100,00	No	70	3,43	100
2017	37-16	Q 96	CP 94-1975	20,7	300	Si	1102	53,24	2900
2017	37-16	Q 96	CP 94-1975	6,9	100	No	38	5,51	100
Promedio					182,28			48,25	

Además del aumento en la cantidad de plantas por gramo de semilla sembrada, se notó que aquellas flores en donde se utilizó la técnica del margullo, brindaron una mayor cantidad de semilla sexual, este aumento en promedio de los tres cruces evaluados, fue de un 82,28%. De acuerdo a estos resultados se puede decir que el uso del margullo genera los siguientes beneficios:

- Mayor producción de plántulas o seedlings por cruzamiento (mayor variabilidad)
- Mejor aprovechamiento de las flores en el área de cruzamiento
- Menor gastos de recursos materiales y humanos
- Mayor efectividad de los cruces

En el cuadro 4 se puede apreciar la producción de semilla sexual o fuzzi obtenida en los diferentes cruzamientos efectuados por el programa de variedades nacionales, durante el periodo comprendido entre el año 2010 al 2018 (primer semestre); en él se observa que la producción de plántulas en los últimos tres años ha aumentado en un 40%, donde el margullo ha colaborado con estos resultados. En la producción de plántulas por gramo en este periodo se aprecia una variación muy grande, lo que posiblemente se debe a que las flores no siempre presentan las mismas características de un año a otro, además de variaciones en las temperaturas en el área de cruzamientos, lo que provoca problemas en la polinización.

Cuadro 5.
Plántulas o “seedlings” obtenidas por el programa de variedades LAICA durante los años 2010-2018.

Año	Semilla sembrada (g)	Plántulas obtenidas (g)	Plántulas trasplantadas (N°)
2010	225,36	168	37.861
2011	440,8	65,13	28.713
2012	174,4	140,63	24.525
2013	239	88,93	21.256
2014	363,1	67,43	24.484
2015	275,1	101,03	27.794
2016	649,5	60,12	39.048
2017	507	70,28	35.633
2018	216	95,52	20.632

Inducción de floración con aplicación de luz artificial.

Uno de los aspectos más importantes en los programas de mejoramiento genético a nivel mundial, es explotar al máximo el potencial genético con el que se cuenta en el país, es decir,

utilizar todas las variedades posibles que posean buenas características agroindustriales. El problema que se presenta, es que existen variedades que poseen muy buenas características, pero no florecen en forma natural, por lo cual no se pueden utilizar para cruzarlas. En esta no presencia de floración, influyen la composición genética de la variedad, el fotoperiodo, la radiación solar, la insolación o brillo solar, la temperatura, la madurez, como los principales factores (Chaves 2017; Queme *et al.* 2011).

Es por esto que se han realizado cientos de estudios de investigación a nivel mundial, donde los factores que más influyen para que se presente o no la floración, son el **fotoperiodo** y la **temperatura**, para lo que se debe trabajar en establecer una metodología que ajuste las condiciones climáticas que requiere la caña de azúcar para florecer. Como lo indica Viveros *et al.* (1991) en la inducción de floración mediante fotoperiodo, se trata de simular la curva de luz de un sitio localizado a 14° de latitud y se plantea como hipótesis que hay una etapa clave en la inducción de la floración de la caña de azúcar, durante la cual se produce el estímulo para florecer, donde debe haber una alternancia de luz y de oscuridad, en la cual si hay 13 horas de luz no hay flor y con 12:30 horas luz si hay flor; donde el periodo de inducción se establece entre los meses de agosto e inicios de setiembre (Queme *et al.* 2011).

La intensidad y la calidad de la luz es otro factor de suma importancia en este proceso de inducción artificial de floración, como lo indica Silva (2016)³, el espectro de luz es determinante, debido a que las plantas para realizar la fotosíntesis, necesitan un espectro entre 400 a 700 nm, los cuales son espectros de luz azul, verde y roja; pero para influir en la floración es necesario un espectro entre 660 a 800 nm, los cuales se ubican en el espectro de luz de rojo a rojo lejano. Para lograr esta intensidad de luz, es necesario colocar bombillos de luz blanca e incandescente, en una relación 3,2:1,0 respectivamente.

Pruebas realizadas.

El programa de variedades de LAICA, comenzó a trabajar en esta materia el año anterior en la estación experimental de DIECA, la cual está ubicada en Santa Gertrudis Sur de Grecia, Costa Rica 10°05' 18" latitud norte y 84°17' 09" longitud oeste, a una altitud de 1.005 msnm, con una precipitación anual de 3.304 mm, con 30,81, 15,95 y 23,38 °C de temperaturas máxima, mínima y media respectivamente, como se logra apreciar en el cuadro 6, esto durante el año 2017.

Lo que se hizo en este campo de estudio fue crear un sistema de inducción a campo abierto, el cual es utilizado en varios países como Guatemala y Ecuador (Castillo y Silva 2004). Analizando nuestras condiciones y los resultados obtenidos en Colombia (Viveros *et al.* 1991), en Ecuador

³ Silva, E. setiembre 2016. Casa de floración. (correo electrónico). El Triunfo, Guayas Ecuador. CINCAE.

(Silva 2016⁴) y Guatemala (Orozco 2017⁵), se acondiciono un área con dos líneas de luces, en las cuales se colocaron bombillos de luz fluorescente (blanca) e incandescente (amarilla), cada 75 cm, a una altura de 6 metros, en una relación de 3,2:1,0 de luz blanca y luz amarilla respectivamente, por línea se colocaron 14 bombillos de luz blanca y 4 de luz amarilla.

Se evaluaron cuatro tratamientos de inducción, utilizando cuatro variedades SP 78-4764, H 68-1158, B 82-333 y B 80-689, las cuales se caracterizan porque su floración es nula o muy escasa en el campo, bajo condiciones naturales, estas fueron sembradas en un pote (medio estañón) de 0,11 m³, los cuales contenían una mezcla de tierra, abono orgánico y arena, en proporciones 40, 30 y 30% respectivamente. También, se sometieron a esta curva de inducción las variedades: LAICA 08-390, B 89-138, B 96-018, HIBRIDO 1 F1 (Q 96 * VARIEDAD FIBRA), HIBRIDO 2 F1 (Q 96 * VARIEDAD FIBRA) y LAICA 10-804.

A los tres meses después de sembrados los esquejes, se realizó una selección de los mejores seis tallos por unidad experimental, siendo estos los únicos que pasaron a la etapa de inducción; la luz fue manejada por medio de un Timer digital.

Cuadro 6.
Datos de temperatura y precipitación en la estación experimental DIECA durante el año 2017

MES	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C	Temperatura media °C	Precipitación (mm)
Enero	30,51	13,23	21,87	0
Febrero	31,64	13,83	22,74	0
Marzo	32,73	14,08	23,41	0
Abril	32,96	15,55	24,26	97,50
Mayo	30,79	17,93	24,36	588,8
Junio	29,98	17,43	23,71	298,90
Julio	30,69	17,00	23,85	337,8
Agosto	30,45	16,58	23,52	354,9
Setiembre	30,44	16,58	23,51	904,7
Octubre	29,34	17,09	23,22	497,7
Noviembre	29,16	16,19	22,68	209,20
Diciembre	30,99	15,91	23,45	14,7
Promedio/ Total	30,81	15,95	23,38	3.304,20

⁴ Silva, E. setiembre 2016. Casa de floración. (correo electrónico). El Triunfo, Guayas Ecuador. CINCAE.

⁵ Orozco, H. 2017. Mayo 2017. Proceso de inducción de floración por medio de fotoperiodo. (Charla técnica). Cotz, Guatemala. CENGICAÑA.

Tratamientos.

Como se logra observar en la figura 2, los tratamientos se fueron incluyendo poco a poco durante la inducción, la cual inicio el 09 de junio (T1) con 30 días a 13:30 horas de luz, luego se descendió a 13:00 horas de luz (T3) y se fue disminuyendo un minuto por día hasta llegar al 08 de agosto (T4), donde se mantuvo a 12:30 horas de luz por 15 días y luego continuo disminuyéndose un minuto con día, hasta llegar al fotoperiodo natural el 16 de setiembre, donde se apagó el sistema y se continuo solo la luz natural. El primer tratamiento tuvo toda la inducción antes explicada, el segundo tratamiento tuvo 15 días menos de inducción, el tercer tratamiento comenzó a las 13 horas de luz y el último tratamiento inicio el 8 agosto, cuando se mantuvo las horas luz en 12:30.

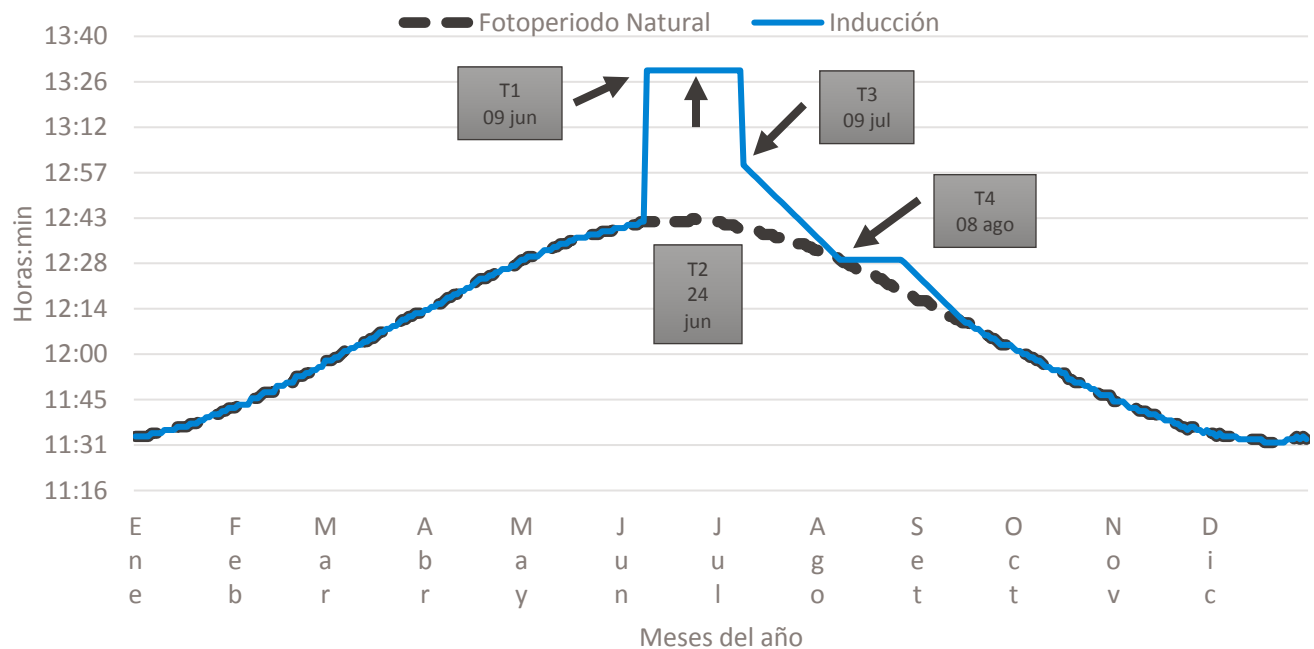


Figura 2. Tratamientos de inducción de fotoperiodo establecidos en la estación experimental DIECA, 2017

En el 2017 los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, debido a que no se obtuvo floración en las variedades que se colocaron en el ensayo, únicamente en el híbrido 1, donde se consiguieron tres flores, de los seis tallos que se dejaron para inducción.

Este resultado nos indica que el proceso o la metodología de inducción establecida para nuestras condiciones no fue la más adecuada. Con base en este resultado, en la prueba de este año se hicieron algunos ajustes como se verá seguidamente.

La edad de las plantas es un factor a evaluar para nuestras condiciones, donde se debería de llegar a tener plantas de mayor edad, cuando se inicia el proceso de inducción.

Prueba 2018.

Como se logra observar en la figura 3, para el presente año 2018, se realizaron cambios en el área de inducción de floración de caña de azúcar a campo abierto, en la estación experimental DIECA. Estos cambios consistieron en modificar la cantidad de luz que se le agrega a las plantas durante el periodo de inducción, donde en este año 2018, se inicia con 13:30 horas de luz el día 21 de junio y se va reduciendo un minuto por día, hasta chocar con el fotoperiodo natural que es el 01 setiembre.

Las variedades de caña de azúcar que se están evaluando son 11 que están en soca y vienen de la prueba del año anterior y 22 variedades sembradas este año, las cuales se mantienen en pots (estañones) de 0,11 m³ de capacidad.

Al fin de año se va a corroborar, si los cambios realizados en esta segunda prueba dan buenos resultados, lo cierto es que la institución va a seguir trabajando en este campo, por lo que ya se está pensando en la construcción de una casa de fotoperiodo, con la cual se pueden controlar otros factores que influyen en la floración, como lo es la temperatura mínima, lo cual en campo abierto no se puede hacer.

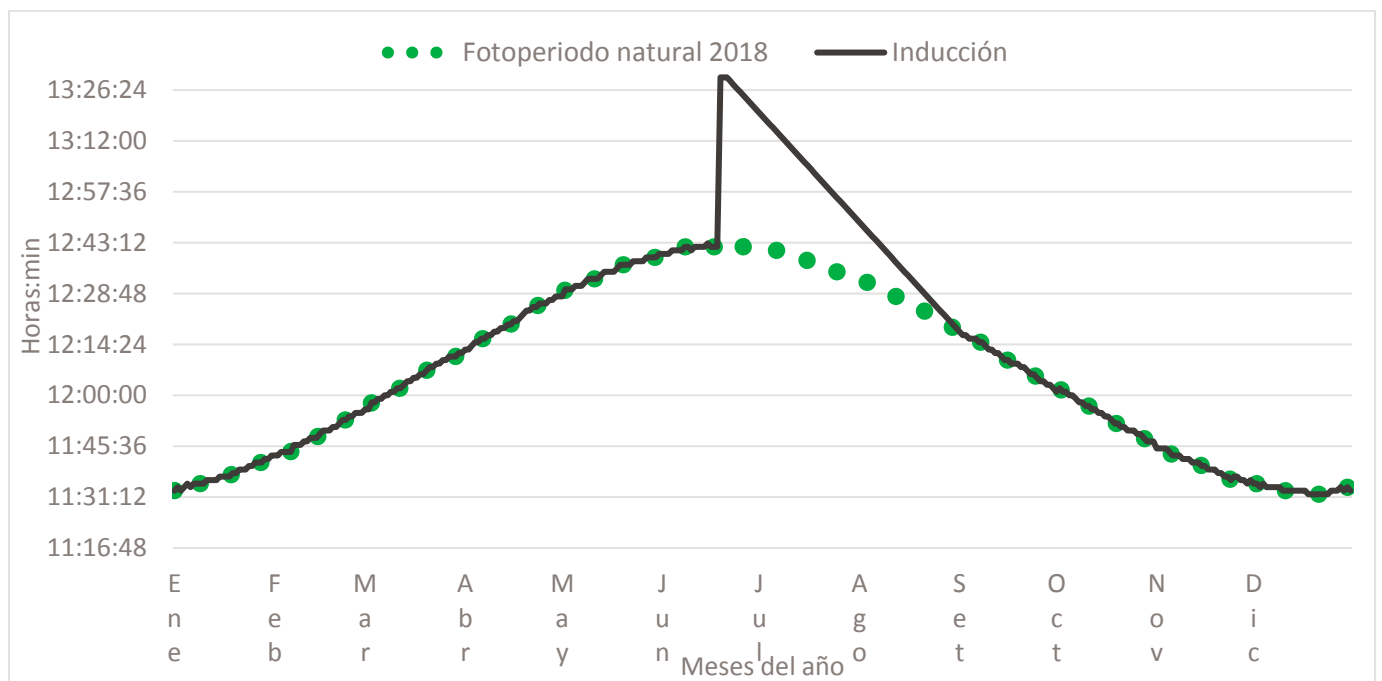


Figura 3. Tratamientos de inducción de fotoperiodo establecidos en la estación experimental DIECA para el año 2018.

Desafíos.

Dentro de los principales desafíos que se plantea el programa de variedades LAICA, por un lado está el aumentar la cantidad de cruces a realizar por año, para poder así sembrar una mayor cantidad de semilla sexual, lo que permitirá sembrar y evaluar una mayor cantidad de plántulas por año, en las distintas regiones cañeras del país. Con esto se pretende obtener variedades que brinden mayor producción, tanto en toneladas de caña por hectárea, como en kilogramos de azúcar por tonelada

El cambio climático es otro factor de estudio en el programa, donde las sequías y las severas lluvias que se presentan en el país, deben ser factores a considerar, para ver de qué manera se pueden cubrir dentro del proceso de selección de variedades utilizado en cada región cañera del país.

Otro aspecto de interés para el programa de variedades LAICA-DIECA, es el empleo de la biotecnología en el mejoramiento genético de la caña de azúcar, donde como lo indica Senties-Herrera *et al.* (2016), los avances recientes en genómica funcional de este cultivo han permitido definir rutas genéticas importantes para su mejoramiento y se espera que tanto los protocolos de transformación genética, como de mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares, se hagan más eficientes y permitan en un futuro aumentar la capacidad de síntesis de azúcar, tolerancia o resistencia a embates ambientales y de mayor rendimiento.

Conclusiones.

- Los cambios o modificaciones implementadas por el programa de variedades de caña de azúcar de LAICA, han venido a mejorar la efectividad de los cruzamientos realizados.
- El establecimiento de un banco de variedades en la Finca El Porvenir, ha permitido obtener mayor floración en las variedades utilizadas como progenitores, y ha facilitado el traslado de las inflorescencias hacia el área de cruzamientos ya que esta se ubica a pocos kilómetros del banco de variedades.
- El empleo de la técnica del margullo ha demostrado ser efectiva, ya que las inflorescencias de los tallos en donde se coloca, producen mayor cantidad de semilla sexual y esta semilla genera a la vez, mayor número de plántulas por gramo.
- La inducción de floración por medio de tratamiento con luz artificial a campo abierto, no ha brindado los resultados esperados, sin embargo, continúa siendo un factor a estudiar, hasta lograr resultados positivos.
- Los principales desafíos que considera el programa, están en realizar un mayor número de cruces por año, evaluar una mayor cantidad de plántulas en las regiones cañeras, para

de esta manera buscar cada día variedades LAICA más productivas y de características sobresalientes.

- Es importante utilizar la biotecnología como una herramienta más dentro del proceso de búsqueda de nuevas variedades.

Bibliografía.

1. Caraballosa, V. Concepción, E. Quintanilla, M. 2015. Modificaciones en la técnica de solución para cruzamientos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Cuba. Revista Centro Azúcar. 42 (3) Julio-Setiembre (23-29)
2. Carvajal, JP. Durán, J. 2018. Evaluación de la incidencia e intensidad de la floración en el banco de germoplasma de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Costa Rica, durante el año 2016. Revista Entre Cañeros (11). 14 agosto, (43-54)
3. Cassalett, C. Ranjel, H. 1995. Mejoramiento genético. En: CENICAÑA El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia. 1995 (p. 63-81)
4. Castillo, R. Silva, E. 2004. Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en Ecuador. Publicación Técnica No. 3. CINCAE, octubre 2004. Guayaquil, Ecuador. 27 p.
5. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). 2012. El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala. Melgar, M.; Meneses, A.; Orozco, H.; Pérez, O.; y Espinosa, R. (eds.). Guatemala. 512 p.
6. Chaves, M. 2016. La mejora genética de la caña de azúcar en Costa Rica. Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 28 p.
7. Chaves, M. 2017. Floración de la caña de azúcar. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. 69 p.
8. Durán, J. Carvajal, JP. Villalobos, C. 2018. Proceso de selección y mejoramiento genético de variedades de la caña de azúcar en Costa Rica. Brochure marzo 2018. LAICA-DIECA. Grecia, Costa Rica.
9. Durán, J. Oviedo, M. 2015. La Hibridación de la Caña de Azúcar en Costa Rica ¿Qué se ha Hecho?. VI Congreso Tecnológico del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA) Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA) 20 y 21 de agosto del 2015. Salón de Asambleas de CoopeVictoria R. L., Grecia. Alajuela, Costa Rica. 16 p.
10. LAICA. 2018. Programa de variedades Informe de resultados 2017. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio. 74 p. Disponible en: www.laica.co.cr/biblioteca

11. Quemé, J.L. Orozco, H. Castro, O. Buc, R. Ralda, G. López, A. Acán, J. Solares, E. Natareno, E. Coronado, M. 2011. Floración de la caña de azúcar y sus efectos en variables relacionadas con la productividad de azúcar. Presentación PowerPoint. Cengicaña, Cotz. Guatemala. 33p.
12. Ríasco, J. Victoria, J. Angel, F. 2003. Diversidad genética en variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) usando marcadores moleculares. Rev. Colomb. Biotecnol., 5 (1), p. 6-15.
13. Viveros, C. Cassalett, C. López, Y. 1991. Efecto de la edad de la planta y de diferentes tratamientos fotoinductivos en la floración de la caña de azúcar (*Saccharum* sp.) Acta Agronómica. 41(1/4): 37-45.
14. Sentíes-Herrera, H.E. Gómez-Merino, F.C. Loyo-Joachin, R. 2016. El mejoramiento genético de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en México: una historia de éxito con nuevos desafíos. Agroproductividad 9 (7), julio. 2016. pp: 8-13.

Agradecimientos

Se le agradece al personal del Ingenio y finca el Porvenir, al Gerente Conrad Amrhein, Subgerente Ramón Aguilar Solera y al señor Gerardo Alvarado Calvo, por la ayuda brindada con el terreno, servicios de maquinaria y mano de obra, utilizados en el establecimiento y mantenimiento del banco de variedades.