

RESULTADOS DE LAS ÚLTIMAS INVESTIGACIONES EN SEMILLA DE CAÑA DE AZÚCAR.

Erick Chavarría Soto¹; Randall Ocampo Chinchilla²; Gilberto Calderón Araya³.

RESUMEN

Se recopila e integra los datos e información obtenidos a partir de las últimas investigaciones en el tema de la semilla de caña de azúcar, tratando de enfatizar en lo que se refiere a la calidad de los materiales reproductivos que se utilizan como semilla. Se concluye que la semilla en esqueje proveniente de semilleros básicos establecidos a partir de almácigo de cultivo de tejidos *in vitro* representa una fuente de material de reproducción valioso e importante. También se examina la característica de germinación de la semilla como parámetro de calidad y se propone que el nivel de germinación mínimo permisible no debe ser inferior al 70% para obtener un rendimiento aceptable en tonelaje de caña por unidad de área. Sin embargo, este valor está establecido a partir de datos experimentales que deben ser validados.

INTRODUCCIÓN

La producción de semilla de caña de azúcar es un tema de relevancia que durante mucho tiempo ha generado prejuicios y establecido paradigmas en torno al tema de la calidad de la misma. La caña de azúcar es una planta que tiene la enorme ventaja de que se reproduce de manera vegetativa a partir de las yemas laterales que se encuentran ubicadas en los tallos, a través de un proceso asexual de reproducción que permite que la descendencia sea igual física y genéticamente a los progenitores. Esta facilidad ha generado la creencia popular de que la caña de azúcar se reproduce fácilmente, y que se puede utilizar cualquier fuente como material reproductivo para el establecimiento o la renovación de plantaciones de caña de azúcar. Trabajos realizados por Villalobos y Chavarría (1999); y Barrantes y Chaves (1999a, 1999b, y 2003) muestran resultados interesantes tendientes a desmitificar algunas de las creencias populares en torno al manejo de la semilla de caña de azúcar.

Si bien es cierto que la caña es de fácil reproducción, hay ciertos cuidados en la producción de semilla que influyen directamente en la calidad de los semilleros, tales como el estado de las yemas, la sanidad, la pureza genética, y la edad de cosecha de la semilla (Victoria *et al*, 1997).

¹ LIGA AGRÍCOLA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR (LAICA), Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). Santa Gertrudis Sur, Grecia. Alajuela, Costa Rica. Tels.: 2494-1129, 2494-2955, 2494-7455. Ext.: 107. Fax (506) 2494-4451. E – mail: echavarría@laica.co.cr

² LIGA AGRÍCOLA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR (LAICA), Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). Santa Gertrudis Sur, Grecia. Alajuela, Costa Rica. Tels.: 2494-1129, 2494-2955, 2494-7455. Ext.: 108. Fax (506) 2494-4451. E – mail: rocampo@laica.co.cr

³ LIGA AGRÍCOLA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR (LAICA), Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Región Turrialba. Turrialba. Cartago, Costa Rica. Tel.: 2556-7806. E – mail: gcalderon@laica.co.cr

Para ello hay procedimientos que se pueden aplicar para el establecimiento de semilleros y la producción de semilla de calidad (Alfaro *et al*, 2007).

Uno de los procedimientos más importantes para el establecimiento de semilleros sanos es el tratamiento de la semilla por hidro termo terapia o lo que se conoce popularmente como tratamiento térmico de la semilla, el cual consiste en la inmersión de los esquejes en agua a una temperatura definida, que normalmente está entre el rango de los 50 a los 53°C, por un periodo de tiempo establecido y que varían dependiendo de la sensibilidad de la variedad.

El tratamiento térmico de la semilla está orientado básicamente a la reducción de las enfermedades que se transmiten a través de los esquejes, especialmente las de origen bacteriano y fungoso. Los efectos combinados que pueda tener el calor directamente sobre la semilla y la transmisión de enfermedades se han estudiado con resultados diversos. Alfaro y colaboradores (2003) realizaron un estudio para la determinar el efecto que podría tener el tamaño de los esquejes y el tratamiento de la semilla sobre la enfermedad del raquitismo de las socas (*Leifsonia xyli* supsp. *xyli*) en tres variedades de caña de azúcar. Concluyen que el tratamiento con agua caliente no fue capaz de eliminar del todo a la enfermedad, notándose solamente una disminución de la severidad no así de su incidencia, en comparación a la semilla sin tratar. Por otro lado encontraron que entre los esquejes con yemas individuales y los esquejes de tres yemas no hay diferencias en cuanto a la presencia de la enfermedad, ni en cuanto a la productividad pese a que las parcelas con esquejes de tres yemas tenían el doble de la cantidad de yemas que las de los esquejes individuales. El efecto del tratamiento con agua caliente obtenido por Alfaro y colaboradores (2003), refuerza las conclusiones de Guzmán y otros (1987) en donde propone que el raquitismo de las socas (*Leifsonia xyli* supsp. *xyli*) disminuye luego de varios ciclos sucesivos de tratamiento térmico, por lo que un solo tratamiento es insuficiente.

En el 2003, Chavarría y colaboradores (2006) establecieron una prueba con tres variedades que se sometieron a tres ciclos sucesivos de tratamiento térmico – cosecha para determinar el efecto en el mediano plazo en la semilla. De este trabajo es importante resaltar el efecto del incremento en productividad de los testigos de una temporada a otra o de un ciclo a otro, a pesar de que la semilla no fue sometida al tratamiento con calor, efecto que se atribuyó al simple hecho de hacer la selección del material reproductivo previo a la siembra. Además se evidenció en este trabajo un aumento de la productividad de un ciclo al otro en los demás tratamientos, atribuido según los autores, a la mejora en la germinación inducida por el tratamiento con agua caliente de la semilla. También se destaca en los resultados el efecto del tratamiento sobre la enfermedad del raquitismo de las socas (*Leifsonia xyli* supsp. *xyli*), ya que no se pudo comprobar lo propuesto por Guzmán y otros (1987) debido a que no hubo claridad en los resultados a pesar de que se notó una leve disminución de la incidencia para el último ciclo, hecho que fue acreditado al método de diagnóstico utilizado debido a la falta de sensibilidad para la detección de diferencias entre los tratamientos.

La incorporación del procedimiento de cultivo de tejidos *in vitro*, por parte de LAICA, y desarrollado con el fin de obtener material reproductivo libre de enfermedades para el establecimiento de semilleros básicos, ha puesto a disposición una herramienta complementaria muy valiosa en la producción de semilla de caña de azúcar.

En un trabajo de investigación llevado a cabo en el 2008 y presentado por Álvarez (2009) como trabajo final de graduación, se evaluó la utilización de diferentes materiales reproductivos como fuente de semilla en dos variedades de caña de azúcar, evaluando el almácigo obtenido por medio de cultivo de tejidos *in vitro* como fuente alternativa. Álvarez confirma lo propuesto por Chavarría y colaboradores (2006), al dictaminar que la selección de la semilla previa a la siembra es un factor que promueve un aumento en el rendimiento. Igualmente concluye que utilizar material reproductivo de buena calidad reduce significativamente el efecto positivo del tratamiento con agua caliente de la semilla y de la selección de los esquejes, debido a las características intrínsecas asociadas con la alta calidad de la fuente de semilla utilizada. Se destaca también el desempeño de la semilla en esqueje proveniente de semilleros establecidos a partir de almácigo *in vitro*, con un desempeño igual al de la semilla con tratamiento térmico. Otras variables medidas por Álvarez en esta investigación, tales como germinación, población, grosor y altura de los tallos aparentemente presentan una vinculación débil con los tratamientos evaluados, y en apariencia, con la calidad inicial de las fuentes de semilla y la productividad final, situación que genera cuestionamientos sobre la evaluación de la calidad de los materiales reproductivos.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos a partir de las últimas investigaciones relacionadas con el tema de la semilla de caña de azúcar, como continuación, complemento y verificación de resultados obtenidos a partir de proyectos anteriores.

EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA DE PLÁNTULAS *in vitro* EN EL ESTABLECIMIENTO DE SEMILLEROS BÁSICOS DE CAÑA DE AZÚCAR.

Debido a la integración del almácigo de cultivo de tejidos *in vitro* como material reproductivo para el establecimiento de semilleros básicos y al alto costo de las plántulas, se procedió a evaluar tres densidades de siembra de las plántulas con el fin de obtener la población óptima de manera que haya un balance entre rendimiento de los semilleros y la cantidad de material *in vitro* por unidad de área.

Desde la implementación de esta técnica, los semilleros de almácigo *in vitro* se han sembrado en el campo con una densidad promedio de 13.333 plantas/ha, la cual se estableció con base en la experiencia obtenida a través del tiempo con el establecimiento de viveros primarios para selección, y de semilleros a partir de almácigos de esquejes de yemas individuales tratadas con agua caliente. Sin embargo, la observación directa en el campo ha revelado que el material *in vitro* tiende a producir cepas de caña muy vigorosas con altas poblaciones de tallos (entre 18 y 25 tallos/m) creciendo de manera simultánea y compitiendo entre sí.

De igual manera se ha observado en el campo que los semilleros básicos de almácigo *in vitro* tienen la tendencia a producir tallos más delgados que los semilleros establecidos por medios tradicionales, situación que se le ha atribuido mayormente al proceso de reproducción en el laboratorio más que a la alta cantidad de tallos producidos simultáneamente por las plántulas de cultivo de tejidos.

La prueba se estableció en la Región de Turrialba en el distrito de Pejibaye, cantón de Jiménez, provincia de Cartago (Latitud 9,820167° N, Longitud 83,657000° O) en un ensayo de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en un arreglo de parcelas divididas donde la parcela grande correspondió al factor variedad. La unidad experimental se constituyó con parcelas de 45 m², conformadas por 5 surcos a 1,5 m de distancia y 6 m de longitud. Se evaluaron las variedades B76-259 y H77-4643 y se establecieron los tratamientos que se describen en el Cuadro 1. El Cuadro 2 resume las variables evaluadas y el momento en que se llevó a cabo la evaluación. La cosecha de las parcelas se llevó a cabo a edad para semilla (9 meses) y no de caña comercial.

La variable de pérdidas en germinación en el caso de los tratamientos con plántulas se determinó mediante el conteo de las plantas que sobrevivieron al trasplante y calculando el porcentaje con base en el total de las plantas trasplantadas. En el caso de las parcelas del testigo absoluto (TA) y las de semilla seleccionada y tratada con agua caliente, que fueron sembradas en esqueje, las pérdidas se determinaron mediante el conteo del total de yemas germinadas y el porcentaje se calculó con base en el total de yemas sembradas.

Cuadro 1

Descripción de los tratamientos para la evaluación de la densidad de siembra de plántulas *in vitro* para el establecimiento de semilleros básicos.

Variedad	Tratamiento	Descripción
B76-259	TA	Testigo absoluto sembrado con esquejes de tres yemas a una densidad de 12 yemas/m lineal de surco.
	STT	Corresponde a un segundo testigo de semilla en esquejes de tres yemas seleccionada y tratada con agua a 51°C durante 60 minutos, sembrado a una densidad de 12 yemas/m lineal de surco.
	0,50 m	Distancia de 0,50 m entre plántulas equivalente a una densidad de 13.333 plantas/ha.
	0,75 m	Distancia de 0,75 m entre plántulas equivalente a una densidad de 8.889 plantas/ha.
	1,0 m	Distancia de 1,0 m entre plántulas equivalente a una densidad de 6.667 plantas/ha.
H77-4643	TA	Testigo absoluto sembrado con esquejes de tres yemas a una densidad de 12 yemas/m lineal de surco.
	STT	Corresponde a un segundo testigo de semilla en esquejes de tres yemas seleccionada y tratada con agua a 51°C durante 60 minutos, sembrado a una densidad de 12 yemas/m lineal de surco.
	0,50 m	Distancia de 0,50 m entre plántulas equivalente a una densidad de 13.333 plantas/ha.
	0,75 m	Distancia de 0,75 m entre plántulas equivalente a una densidad de 8.889 plantas/ha.
	1,0 m	Distancia de 1,0 m entre plántulas equivalente a una densidad de 6.667 plantas/ha.

Cuadro 2

Variables agronómicas determinadas para la evaluación de la densidad de siembra de plántulas *in vitro* para el establecimiento de semilleros básicos.

Variable	Unidades	Época de Evaluación
Pérdidas en Germinación o al Trasplante	Brotes/m lineal de surco	30 días después de la siembra
Conteo de Tallos	Tallos/m lineal de surco	6 meses después de la siembra
Altura de Tallos	m	6 meses después de la siembra
Grosor de Tallos	cm	6 meses después de la siembra
Peso de la Semilla	kg/parcela	9 meses después de la siembra

El Cuadro 3 resume los resultados obtenidos para cada una de las variables determinadas, realizando el análisis estadístico de manera independiente por tratamiento sin separar los efectos de los factores variedad y distancia de siembra. En los resultados del Cuadro 3 se destaca el desempeño de los tratamientos de SST y TA de la H77-4643 (6 y 7 respectivamente), que al inicio del ensayo obtuvieron pérdidas fuertes y lograron una recuperación tal que al final presentaron rendimientos en peso bastante altos, de hecho el tratamiento SST de la H77-4643 fue el que superó a todos pese a que presentó el segundo lugar en cuanto a pérdidas a la siembra por fallas en la germinación.

Cuadro 3

Resultados de la evaluación de la densidad de siembra de plántulas *in vitro* para el establecimiento de semilleros básicos.

Variedad	Distancia	Tratamiento	Pérdidas Germinación (%)	Altura (m)	Tallos/m	Grosor (cm)	Peso (kg/parcela)
B76-259	TA	1	35,4 bac	2,4 a	12,8 c	3,4 a	692,5 bac
	STT	2	33,3 bac	2,3 ba	14,6 cb	3,2 bac	687,5 bac
	0,50 m	3	21,9 dc	2,0 bc	19,5 b	2,9 bc	535,0 c
	0,75 m	4	30,0 bdc	1,8 c	27,7 a	2,9 c	582,5 bc
	1,0 m	5	34,4 bac	1,8 c	17,2 cb	3,0 bc	563,8 c
H77-4643	TA	6	51,4 a	2,2 ba	13,5 cb	3,3 a	650,0 bac
	STT	7	43,1 ba	2,1 ba	13,3 cb	3,1 bac	787,5 a
	0,50 m	8	13,8 d	2,0 bc	16,8 cb	2,8 c	678,8 bac
	0,75 m	9	25,9 bdc	2,2 ba	14,2 cb	3,3 ba	730,0 ba
	1,0 m	10	37,2 bac	2,0 bc	11,5 c	3,3 ba	572,5 bc
Valor de F			7,38	9,76	12,0	7,72	6,29
P de F calculado*			2,34E-05	1,82E-06	2,32E-07	1,58E-05	8,97E-05

*Valores de P de F menores a 0,05 se consideran estadísticamente significativos.

**Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 0,05.

Los resultados del análisis de los factores que se muestran en el Cuadro 4 apuntan a que los efectos de los factores variedad – distancia de siembra no son independientes, sino que existe una interacción favorecida probablemente por el factor variedad debido a las diferencias tan marcadas entre las dos variedades, especialmente en la variable peso en la que la H77-4643 fue muy superior a la B76-259, y este efecto favorece a los tratamientos de la variedad H77-4643. También se puede ver que, independientemente de la variedad, la distancia de 0,75 m entre plántulas, que corresponde a una densidad de 8.889 plántulas/ha, resultó la mejor desde el punto de vista de productividad de semilla.

Los datos del Cuadro 4 muestran también que los tratamientos sembrados a partir de esquejes (TA y SST) poseen valores de peso mayores que los tratamientos establecidos con almácigo. Al separar estos efectos del factor variedad y analizar por contrastes entre estos tratamientos, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de todas las variables de los tratamientos a partir de esquejes y los tratamientos a partir de almácigo *in vitro* (Cuadro 5).

Cuadro 4

Resultados del análisis estadísticos de los factores variedad y distancias entre plantas en la evaluación de la densidad de siembra de plántulas *in vitro* para el establecimiento de semilleros básicos.

Factor	Variable	Pérdidas Germinación	Altura (m)	Tallos/m	Grosor (cm)	Peso (kg/parcela)
Variedad	B76-259	32,5	2,0	18,3 a	3,1 a	612,3 a
	H77-4643	40,0	2,1	13,8 b	3,2 b	683,8 b
Valor de F		0,930	4,95	340	2,38	28,0
P de F calculado		0,406	0,113	3,49E-04	0,221	0,0132
Distancias	0,50 m	17,9 c	2,0 b	18,1 ba	2,9 c	606,9 bc
	0,75 m	28,0 bc	2,0 b	20,9 a	3,1 cb	656,3 bac
	1,0 m	35,8 ba	1,9 b	14,3 bc	3,1 b	568,1 c
	STT	38,2 ba	2,2 a	13,9 bc	3,1 b	737,5 a
	TA	43,4 a	2,3 a	13,1 c	3,4 a	671,3 ba
Valor de F		14,6	11,7	10,7	12,7	7,28
P de F calculado*		3,50E-06	2,04E-05	4,10E-05	1,06E-05	5,48E-04
Variedad por	Valor de F	3,560	8,520	7,450	5,140	3,130
Distancia	P de F calc.*	0,02043	1,993E-04	4,749E-04	3,895E-03	0,03318

*Valores de P de F menores a 0,05 se consideran estadísticamente significativos.

**Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 0,05.

Cuadro 5

Resultados de la comparación por contrastes ortogonales entre las medias de los tratamientos establecidos a partir de esquejes y los tratamientos con almácigo *in vitro*.

Parámetros	Altura (m)	Tallos/m	Grosor (cm)	Peso (kg/parcela)
Promedio de tratamientos con plántulas	1,980	17,79	3,024	610,4
Promedio de tratamientos con esquejes	2,228	13,52	3,245	704,4
Valor de <i>F</i>	31,06	28,89	75,37	5,718
<i>P</i> de <i>F</i> calculado*	1,213E-04	1,667E-04	1,612E-06	0,03406

*Valores de *P* de *F* menores a 0,05 se consideran estadísticamente significativos.

Los datos del Cuadro 4 y el resultado del Cuadro 5 también revelan que ampliar la distancia entre plántulas para disminuir la densidad de siembra, no favoreció ni a la altura ni al grosor de los tallos como se esperaba; aunque la distancia de 0,75 m entre plántulas (equivalente a 8.889 plántulas/ha) es la que muestra los mejores resultados de las tres densidades evaluadas.

El Cuadro 6 y el Cuadro 7 muestran los datos de las correlaciones aplicadas y los modelos de mejor ajuste para las regresiones respectivamente, llevadas a cabo para determinar y cuantificar el probable nivel de relación entre ellas y su posible influencia en el rendimiento final de la semilla. Estas relaciones se ilustran desde la Figura 1 hasta la Figura 7.

Cuadro 6

Resultados de las correlaciones entre las variables agronómicas determinadas para la evaluación de la densidad de siembra de plántulas *in vitro* para el establecimiento de semilleros básicos.

Variables	Parámetros	Grosor (cm)	Tallos/m	Altura (m)	Peso (kg/parcela)
Pérdidas (%)	<i>r</i>	0,3946	-0,3337	0,1468	0,01054
	<i>R</i> ²	0,1785	0,1372	0,02824	0,000111159
	Probabilidad de <i>F</i>	0,006613	0,01862	0,3000	0,9485
Grosor (cm)	<i>r</i>		-0,5804	0,6951	0,3569
	<i>R</i> ²		0,3467	0,4923	0,1558
	Probabilidad de <i>F</i>		6,417E-05	4,567E-07	0,01173
Tallos/m	<i>r</i>			-0,4643	-0,2649
	<i>R</i> ²			0,2908	0,1025
	Probabilidad de <i>F</i>			0,001736	0,1354
Altura (m)	<i>r</i>				0,6151
	<i>R</i> ²				0,3907
	Probabilidad de <i>F</i>				0,0001046

*Valores de probabilidad de *F* menores a 0,05 se consideran estadísticamente significativos.

Cuadro 7

Modelos de mejor ajuste entre las variables agronómicas determinadas para la evaluación de la densidad de siembra de plántulas *in vitro* para el establecimiento de semilleros básicos.

Variables	Grosor (cm)	Tallos/m	Altura (m)	Peso (kg/parcela)
Pérdidas (%)	$y = 2,3995x^{0,0756}$	$y = 20,628e^{-0,008982x}$	N. A.	N. A.
Grosor (cm)		$y = -0,469\ln(x) + 4,3946$	$y = 1,9343\ln(x) - 0,1116$	$y = 213,05x^{0,9675}$
Tallos/m			$y = 0,91e^{-0,04081x} * x^{0,5404}$	N. A.
Altura (m)				$y = 198,6e^{0,5721x} * x^{-0,03239}$

N. A.: No hay ajuste.

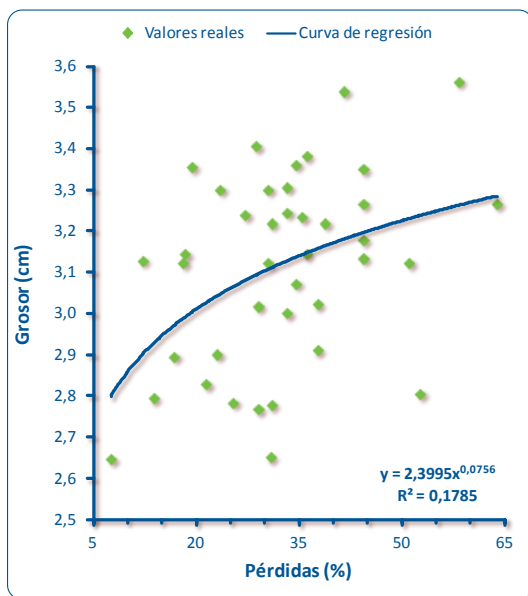


Figura 1

Relación entre las pérdidas (%) a los 30 días después de la siembra y el grosor de los tallos a los 6 meses.

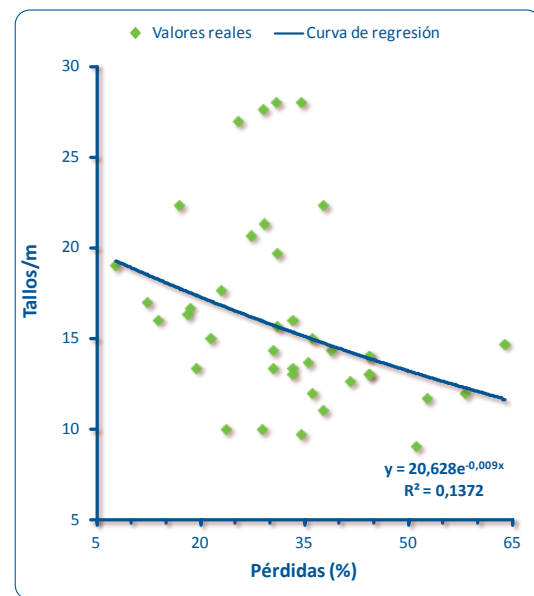


Figura 2

Relación entre las pérdidas (%) a los 30 días después de la siembra y la cantidad de tallos adultos a los 6 meses.

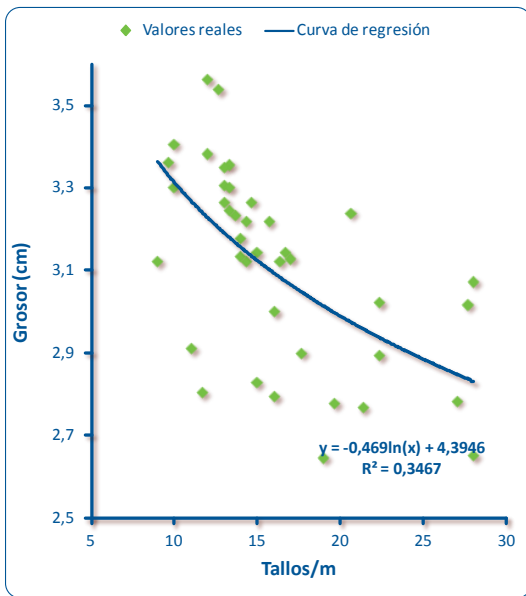


Figura 3
Relación entre el grosor y la cantidad de tallos adultos a los 6 meses después de la siembra.

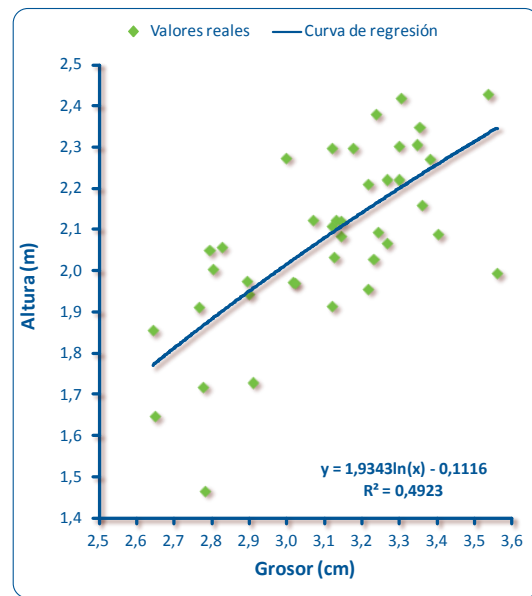


Figura 4
Relación entre el grosor y la altura de los tallos adultos a los 6 meses después de la siembra.

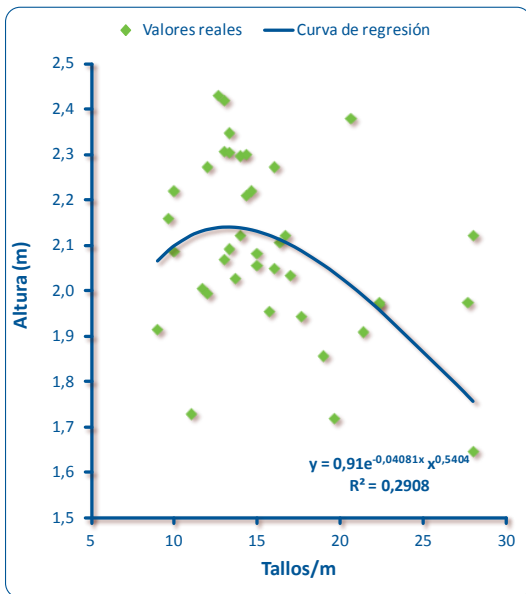


Figura 5
Relación entre el la cantidad de tallos adultos y la altura a los 6 meses después de la siembra.

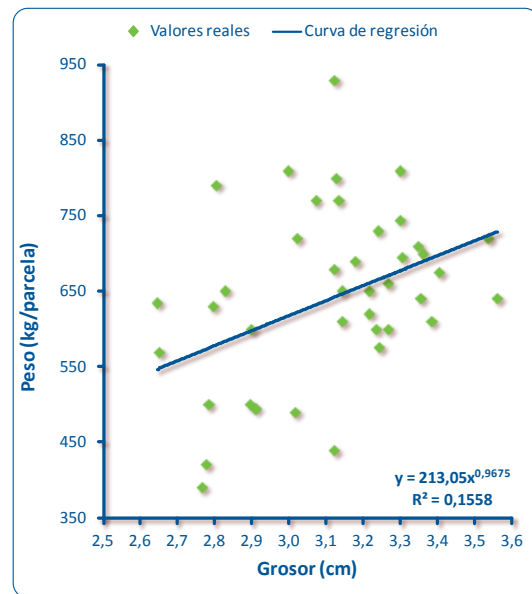


Figura 6
Relación entre el grosor de los tallos y el rendimiento de la semilla a los 9 meses después de la siembra.

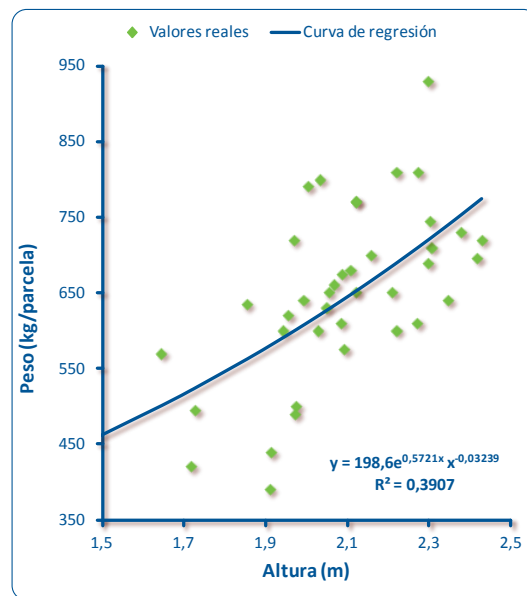


Figura 7
Relación entre la altura de los tallos y el rendimiento de la semilla a los 9 meses después de la siembra.

Los resultados de las correlaciones muestran tendencias inesperadas sobre todo en lo que tiene que ver con las pérdidas a la siembra o trasplante, debido a que se obtuvo una relación inversa entre las pérdidas con la cantidad de tallos/m (Figura 1); mientras que entre las pérdidas y el peso final de la semilla no se obtuvo ninguna correlación (Cuadro 6 y 7). Por otro lado se puede observar en la Figura 2 que hay una predisposición a aumentar el grosor de los tallos con el incremento en las pérdidas aunque el modelo es significativo y el ajuste es débil (Cuadro 6 y 7). El comportamiento que resulta en las tendencias de las regresiones de las Figuras 2 y 3 se justifican en que al aumentar las pérdidas hay menor cantidad de tallos/m, y al disminuir la población de tallos se manifiesta un incremento en el grosor de los mismos. No obstante la influencia del grosor de los tallos no es tan marcada en el rendimiento final (Figura 6).

El comportamiento de la altura de los tallos en función de la población de los mismos muestra claramente en la Figura 5 que se obtuvo una relación decreciente en perjuicio de la altura al aumentar la cantidad de tallos. Este resultado justifica el hecho de que las parcelas sembradas con almácigo *in vitro* tienden a mostrar un desarrollo menor que las establecidas a partir de esquejes, ya que como se muestra en el Cuadro 5, en promedio las parcelas de almácigo *in vitro* producen un 32% más de tallos que las parcelas sembradas con esquejes.

El grosor y la población de tallos tienen también una relación inversamente proporcional, al aumentar la cantidad de tallos/m se determinó una reducción en el grosor promedio de los mismos (Figura 3). Este efecto no se pudo atenuar con la reducción de la densidad de siembra de las plántulas ya que como se observa en el Cuadro 3, en general los tratamientos con plántulas *in vitro* presentaron un grosor menor que el de los tratamientos de esqueje, y las diferencias en el grosor promedio entre ambos tipos de material reproductivo son altamente significativas (Cuadro 5).

Importante la fuerte relación entre la altura y el rendimiento en peso de la semilla (Figura 7), siendo la variable agronómica que más influencia muestra en este sentido. En las parcelas de almácigo *in vitro* se obtuvo menor rendimiento, independientemente de la distancia de siembra, debido a la menor altura que presentaron los tallos en comparación con las parcelas de esquejes (Cuadro 5). En este sentido las variaciones en la densidad de siembra de las plántulas *in vitro* no tuvieron el efecto esperado, y hay que reiterar que definitivamente la densidad de 0,75 m entre plántulas y 1,5 m entre surcos (8.889 plántulas/ha) se muestra como la mejor en lo que a rendimiento de la semilla se refiere.

EVALUACIÓN DE FUENTES DE MATERIAL PROPAGATIVO DE DOS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (B76-259 Y H77-4643), PARA EL ESTABLECIMIENTO DE SEMILLEROS EN LA REGIÓN DE TURRIALBA.

Este ensayo consistió en una réplica del trabajo realizado por Álvarez (2009), el cual tenía como objetivo evaluar diferentes fuentes de materiales propagativos de dos variedades sobre la producción de semilla, solamente que en este caso se montó en una región completamente diferente y con dos variedades comerciales adaptadas a condiciones muy distintas a las del ensayo de Álvarez (2009).

El ensayo se estableció en la Región de Turrialba, en el distrito de Pejibaye, cantón de Jiménez, provincia de Cartago (Latitud 9,830866° N, Longitud 83,666767° O); y se evaluaron dos variedades de caña comercial, B76-259 y H77-4643, con las cuales se establecieron un total de diez tratamientos en un ensayo con diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en un arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió al factor variedad (Cuadro 8). La unidad experimental consistió en parcelas de 60 m² con un trazado de 5 surcos de 8 m de longitud distanciados a 1,5 m entre sí, con 3 m de separación entre bloques y 2 m entre parcelas. Las parcelas se sembraron con esquejes utilizando una densidad de siembra constante de 12 yemas/m lineal de surco, con la excepción de las parcelas establecidas con plántulas *in vitro* que se sembraron a una densidad equivalente de 8.889 plántulas/ha (0,75 m entre plántulas x 1,5 m entre surcos).

En el Cuadro 9 se describen las variables evaluadas. Es importante señalar que en parte el objetivo era evaluar los tratamientos como semilla, por lo que el manejo y la cosecha del ensayo se realizaron siguiendo los mismos procedimientos de rutina tal y como si fuera a utilizarse para semilla.

Los resultados obtenidos en las diferentes variables evaluadas se muestran en el Cuadro 10 para los tratamientos individuales, y en el Cuadro 11 para los factores del arreglo de parcelas divididas.

Cuadro 8

Descripción de los tratamientos para la evaluación de las fuentes de material propagativo de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros en la Región de Turrialba.

Variedad	Fuente de Semilla	Tratamiento	Descripción
B76-259	SST	1	Semilla seleccionada en esquejes y tratada antes de la siembra mediante el proceso de hidro termo terapia a 51°C por 60 minutos.
	SNT	2	Semilla seleccionada en esquejes a la que <u>NO</u> se le aplicó el proceso de hidro termo terapia antes de la siembra.
	PIV	3	Plántulas <i>in vitro</i> sembradas a una distancia de 0,75 m entre plántulas y 1,5 m entre surcos.
	SIV	4	Semilla seleccionada en esquejes proveniente de semilleros <i>in vitro</i> establecidos previamente en la región.
	TA	5	Testigo absoluto con semilla comercial sin seleccionar y sin tratar por hidro termo terapia.
H77-4643	SST	6	Semilla seleccionada en esquejes y tratada antes de la siembra mediante el proceso de hidro termo terapia a 51°C por 60 minutos.
	SNT	7	Semilla seleccionada en esquejes a la que <u>NO</u> se le aplicó el proceso de hidro termo terapia antes de la siembra.
	PIV	8	Plántulas <i>in vitro</i> sembradas a una distancia de 0,75 m entre plántulas y 1,5 m entre surcos.
	SIV	9	Semilla seleccionada en esquejes proveniente de semilleros <i>in vitro</i> establecidos previamente en la región.
	TA	10	Testigo absoluto con semilla comercial sin seleccionar y sin tratar por hidro termo terapia.

Cuadro 9

Variables agronómicas determinadas para la evaluación de las fuentes de material propagativo de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros en la Región de Turrialba.

Variable	Unidades	Época de Evaluación
Germinación	Porcentaje	30 días después de la siembra
Conteo de Tallos	Tallos/m lineal de surco	6 meses después de la siembra
Altura de Tallos	m	6 meses después de la siembra
Grosor de Tallos	cm	6 meses después de la siembra
Peso de la Semilla	kg/parcela	9 meses después de la siembra

Cuadro 10

Resultados obtenidos en la evaluación de las fuentes de material propagativo de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros en la Región de Turrialba.

Variedad	Fuente de Semilla	Tratamiento	Germinación (%)	Altura (m)	Tallos/m	Grosor (cm)	Peso (kg/parcela)
B76-259	SST	1	85,4	2,6	12,4	3,3	686,3
	SNT	2	71,9	2,5	12,9	3,5	694,8
	PIV	3	82,6	2,5	16,0	3,2	649,5
	SIV	4	72,9	2,7	12,6	3,4	742,3
	TA	5	71,9	2,4	11,3	3,3	603,8
H77-4643	SST	6	69,8	2,6	11,0	3,4	646,0
	SNT	7	62,5	2,5	15,0	3,4	621,5
	PIV	8	72,2	2,5	10,6	3,4	566,0
	SIV	9	71,9	2,6	12,4	3,3	689,0
	TA	10	63,5	2,6	13,4	3,4	704,5
Valor de <i>F</i>			1,42	1,91	1,34	0,760	0,962
<i>P</i> de <i>F</i> calculado*			0,227	0,0661	0,231	0,650	0,491

*Valores de *P* de *F* menores a 0,05 se consideran estadísticamente significativos.

Cuadro 11

Resultados del análisis estadístico de los factores variedad y fuente de semilla, en la evaluación de las fuentes de material propagativo de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros en la Región de Turrialba.

Factor	Variable	Germinación (%)	Altura (m)	Tallos/m	Grosor (cm)	Peso (kg/parcela)
Variedad	B76-259	77,0 a	2,6	13,0	3,3	675,3
	H77-4643	68,0 b	2,5	12,5	3,4	645,4
Valor de <i>F</i>		6,32	0,0100	0,0900	0,710	3,87
<i>P</i> de <i>F</i> calculado		0,0190	0,930	0,781	0,463	0,144
Fuente de Semilla	SST	77,6	2,6 ba	11,7	3,3	666,1
	SNT	67,2	2,5 b	13,9	3,4	658,1
	PIV	77,4	2,5 b	13,3	3,3	607,8
	SIV	72,4	2,7 a	12,5	3,3	715,6
	TA	67,7	2,5 b	12,3	3,3	654,1
Valor de <i>F</i>		1,59	2,9	0,830	0,450	0,919
<i>P</i> de <i>F</i> calculado		0,209	0,0279	0,513	0,774	0,469
Variedad por Fuente de Semilla	Valor de <i>F</i>	0,430	1,37	2,55	1,15	0,875
	<i>P</i> de <i>F</i> calc.*	0,784	0,256	0,0474	0,340	0,493

*Valores de *P* de *F* menores a 0,05 se consideran estadísticamente significativos.

**Medias con la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Tukey al 0,05.

A pesar de que los datos del Cuadro 10 muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, se puede rescatar el desempeño en rendimiento de los tratamientos 4 y 9, ambos correspondientes a la fuente de semilla en esqueje proveniente de semilleros *in vitro* previos (SIV). Este resultado es consistente con el obtenido por Álvarez (2009) en donde los tratamientos SIV tuvieron un buen resultado.

Se puede resaltar también que los testigos absolutos (TA) muestran inconsistencias en su comportamiento, sobre todo el de la H77-4643 que presentó un rendimiento alto a pesar de que tiene uno de los porcentajes de germinación más bajos, combinado con valores promedio en las demás variables. Este tipo de inconsistencias fue también observado en el 2009 por Álvarez, y al igual que esa ocasión, el efecto es atribuible a la buena calidad de los lotes de semilla utilizados.

Los datos del Cuadro 11 corresponden a los resultados de la separación de los factores variedad y fuente de semilla, así como el análisis de la interacción de ambos. Los resultados solamente muestran diferencias significativas entre ambas variedades en la germinación, donde la B76-259 supera a la H77-4643 debido probablemente a las diferencias anatómicas a nivel de yemas laterales que presentan ambas variedades, en las cuales la H77-4643 muestra desventajas debido a lo abultada y expuesta que se encuentran las yemas, lo que la hace susceptible al daño mecánico producto de la manipulación de la semilla.

La altura de los tallos en el factor fuente de semilla fue la otra variable del Cuadro 11 en la que se obtuvieron diferencias significativas, con un desempeño muy bueno en las parcelas sembradas con semilla en esquejes provenientes de semilleros *in vitro* (SIV), el cual se equipara a los resultados de las parcelas con semilla tratada por hidro termo terapia. Un resultado similar también fue obtenido por Álvarez en el 2009.

Para el caso de la interacción de los factores variedad – fuente de semilla, se obtuvo que los efectos son independientes para todas las variables con la excepción de la cantidad de tallos/m donde parece haber evidencia de influencia de la variedad en el resultado.

Como se anotó anteriormente, aunque los resultados obtenidos de peso de las parcelas no muestran diferencias significativas, hay que resaltar en el Cuadro 11 los valores alcanzados con la semilla proveniente de esquejes de semilleros *in vitro* (SIV), que independientemente de la variedad, muestra el rendimiento más alto superando en un 7,4% al tratamiento que le sigue que es el de la semilla tratada por hidro termo terapia. Las parcelas sembradas con almácigo *in vitro* fueron las que mostraron el menor rendimiento debido a las características de desarrollo del material obtenido por el proceso de cultivo de tejidos, este resultado se esperaba y concuerda también con lo obtenido por Álvarez (2009).

Los resultados obtenidos con las parcelas de esquejes sin tratamiento térmico, no concuerdan con los obtenidos en el 2009 por Álvarez, debido a que en esta ocasión el tratamiento térmico no afectó negativamente a la semilla de ambas variedades.

Los resultados obtenidos con las correlaciones que se muestran en el Cuadro 12 denotan poca relación entre las variables evaluadas; pero se destacan la influencia de la altura, el grosor y la cantidad de tallos/m en el peso final de la semilla sobre todo porque en esta oportunidad el grosor

de los tallos muestra un rol más claro en el rendimiento ($r = 0,41$) superando al de la cantidad de tallos/m ($r = 0,30$) debido tal vez a su influencia en la altura ($r = 0,51$). Este comportamiento no se había observado en experiencias anteriores.

En el caso de esta prueba, y al igual que en ensayos anteriores, la altura de los tallos es la variable más importante en relación a la producción ($r = 0,66$).

Llama la atención que la germinación muestra un efecto muy bajo o ausente sobre las demás variables agronómicas. En el trabajo de Álvarez (2009) también se observó un comportamiento similar. Este es un resultado importante e inesperado debido a que normalmente la germinación de la semilla es la primer condición apreciable a primera vista por parte de técnicos y productores en el campo, y en primera instancia atribuible a la calidad del material reproductivo, por lo que se tenía la expectativa de que pudiera tener una marcada influencia en el desempeño del semillero o de la siembra comercial.

Cuadro 12

Resultados de las correlaciones entre las variables agronómicas determinadas para la evaluación de las fuentes de material propagativo de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros en la Región de Turrialba.

Variables	Parámetros	Grosor (cm)	Tallos/m	Altura (m)	Peso (kg/parcela)
Germinación (%)	r	-0,080	-0,094	-0,16	0,36
	R^2	0,0064	0,027	0,080	0,13
	Probabilidad de F	0,62	0,31	0,20	0,082
Grosor (cm)	r		0,094	0,51	0,41
	R^2		0,0090	0,30	0,17
	Probabilidad de F		0,56	0,0012	0,0092
Tallos/m	r			0,15	0,30
	R^2			0,12	0,096
	Probabilidad de F			0,089	0,052
Altura (m)	r				0,66
	R^2				0,44
	Probabilidad de F				3,0E-06

*Valores de probabilidad de F menores a 0,05 se consideran estadísticamente significativos.

Cuadro 13

Modelos de mejor ajuste entre las variables agronómicas determinadas para la evaluación de las fuentes de material propagativo de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros en la Región de Turrialba.

Variables	Grosor (cm)	Tallos/m	Altura (m)	Peso (kg/parcela)
Germinación (%)	N. A.	N. A.	N. A.	$y = 0,0971x^2 - 17,077x + 1.369,3$
Grosor (cm)		N. A.	$y = 0,4047x^{5,5946}/e^{1,4678x}$	$y = 251,9x - 182,87$
Tallos/m			N. A.	N. A.
Altura (m)				$y = 86,819e^{0,7876x}$

N. A.: No hay ajuste.

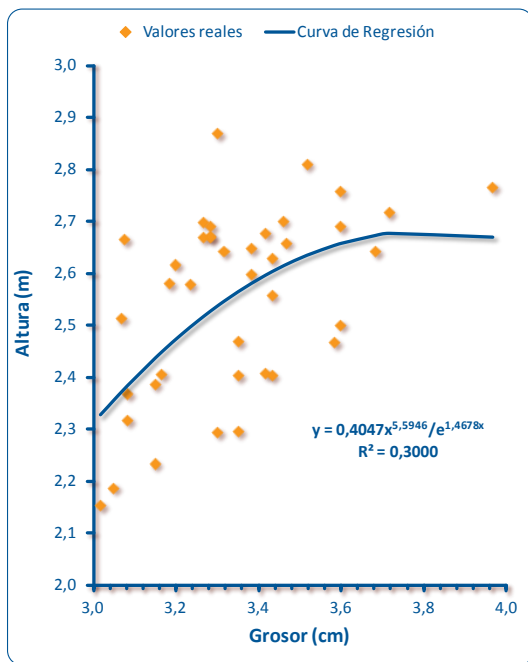


Figura 8

Relación entre el grosor y la altura de los tallos adultos a los 6 meses después de la siembra.

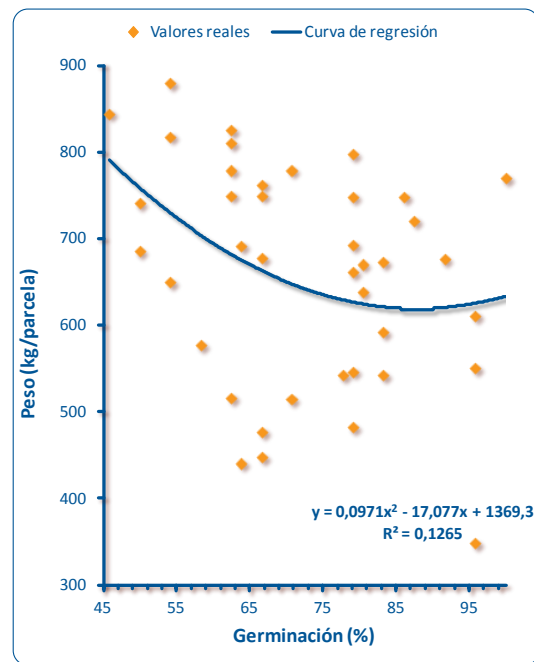


Figura 9

Relación entre la germinación a los 30 días después de la siembra y el rendimiento de la semilla.

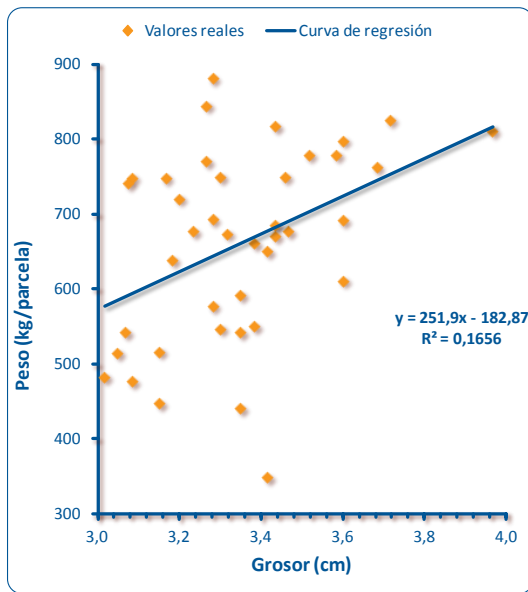


Figura 10

Relación entre el grosor de los tallos a los 6 meses después de la siembra y el rendimiento de la semilla.

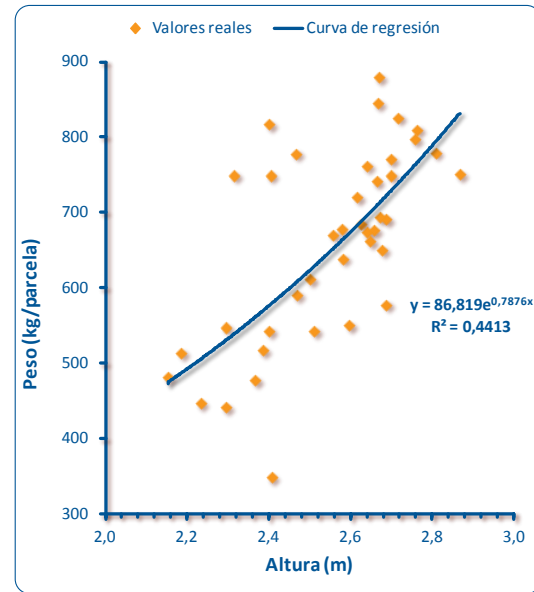


Figura 11

Relación entre la altura de los tallos a los 6 meses después de la siembra y el rendimiento de la semilla.

La Figura 9 muestra una tendencia decreciente preocupante debido a que se puede mal interpretar de manera que a mayor germinación menor es el rendimiento que se puede esperar, no obstante la relación es muy débil y estadísticamente no significativa tal y como se discutió anteriormente y como se observa en el Cuadro 12. La dispersión de los puntos en la Figura 9 imposibilita el establecimiento de un patrón de comportamiento mediante regresión simple. No obstante, este patrón de distribución se asemeja a los patrones obtenidos en las pruebas de correlación para la definición de niveles críticos de los elementos en el suelo, basados en la respuesta en rendimiento relativo de una determinada especie de planta en función del contenido del elemento en el suelo. Este tipo de relaciones no curvilíneas pueden ser analizadas mediante el sistema desarrollado por Cate y Nelson en 1965, lo que permitiría el establecimiento y la propuesta de un valor de porcentaje de germinación mínimo permisible, basados en los datos de rendimiento obtenidos a partir de los datos experimentales transformados a toneladas por hectárea de caña.

El método desarrollado por Cate y Nelson (1965) fue luego modificado y mejorado por los mismos autores en 1971, y está basado en la comparación dinámica de poblaciones a partir de los datos experimentales, hasta el establecimiento de un valor máximo de R^2 calculado a partir de la suma de cuadrados corregida de las poblaciones, y expresada en términos relativos a la suma de cuadrados totales. El punto en el que se encuentre el máximo valor de R^2 sería el que defina el nivel crítico que se está buscando.

Gráficamente la técnica de Cate y Nelson (1971) resulta más sencilla de interpretar ya que está basada en el ajuste de la mayor cantidad de puntos en dos planos o cuadrantes denominados “positivos”, que corresponden a la zona del gráfico en la que valores bajos de la variable independiente resulta en niveles bajos del efecto o viceversa. Adicionalmente están también los cuadrantes “negativos” que son las zonas del gráfico en las que valores bajos de la variable independiente resultan en niveles altos del efecto o viceversa.

Aplicando la metodología de Cate y Nelson (1971) a los datos experimentales de porcentaje de germinación y de rendimiento transformados a toneladas por hectárea (t/ha), es posible obtener un porcentaje de germinación mínimo permisible para la semilla de caña de azúcar. La Figura 12 ilustra gráficamente el resultado del análisis, el cual establece como un 70% de germinación el nivel mínimo permisible para obtener un rendimiento aceptable, que a nivel experimental concuerda con un valor equivalente 146 t/ha. Como se indica en la Figura 12, el R^2 obtenido mediante esta metodología fue de 0,30, mientras que mediante regresión simple el máximo R^2 obtenido fue de 0,13 (Cuadro 12). El hecho de no tener puntos en el cuadrante positivo de la esquina superior derecha de la Figura 12 imposibilita obtener un valor con un R^2 mayor.

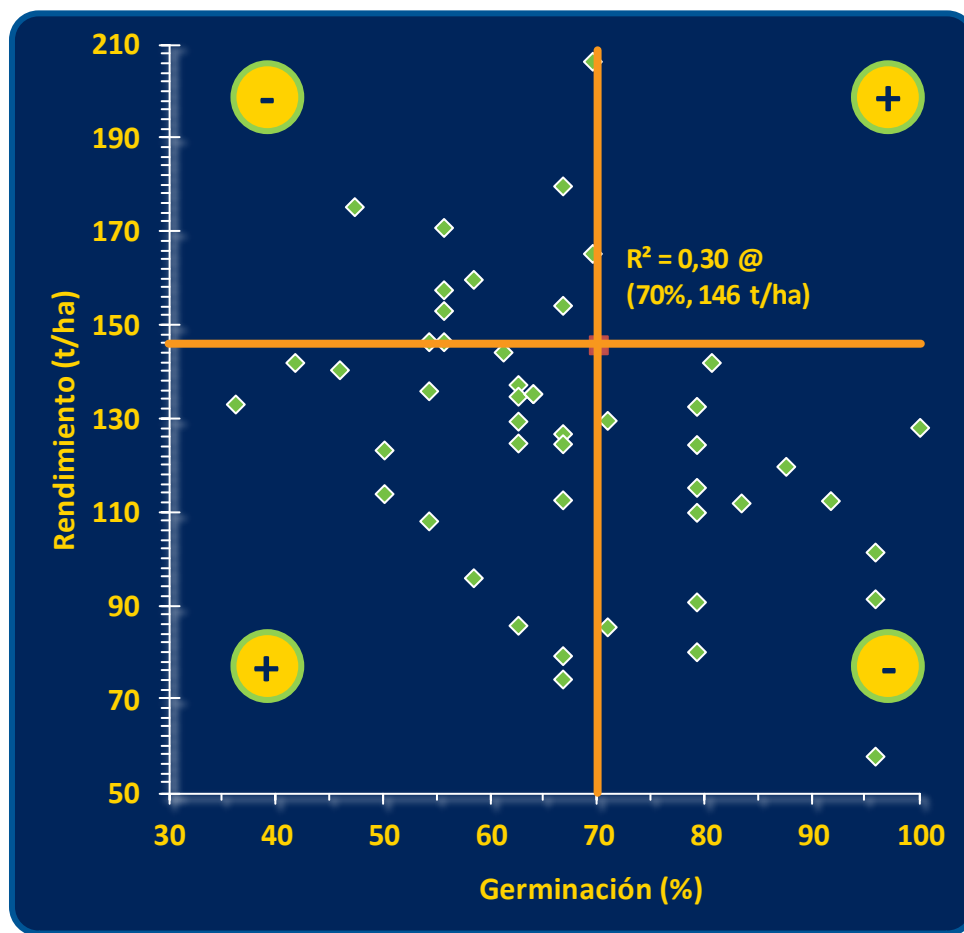


Figura 12

Resultado del análisis mediante el método de Cate y Nelson (1971) para la obtención del nivel mínimo permisible de porcentaje de germinación de la caña de azúcar.

CONCLUSIONES

- Los semilleros establecidos a partir de almácigo *in vitro* presentan atributos de altura y grosor que están intrínsecamente ligadas a las características propias de las plántulas. El desarrollo de tallos de manera simultánea por parte de las plántulas *in vitro* en el campo, generan competencia entre sí debido a la mayor cantidad de tallos en comparación a las plantas que se desarrollan a partir de esquejes. No fue posible estimular mediante la densidad de siembra la mejoría de los valores de grosor, altura y tonelaje. No obstante y tomando en cuenta el desempeño de las plantas obtenidas a partir de esquejes de semilleros *in vitro*, la semilla obtenida de semilleros básicos de plántulas de cultivo de tejidos es de una excelente calidad que puede estar a la altura de la semilla de tratamiento térmico.
- Los resultados obtenidos sugieren que la mejor densidad de siembra para el almácigo *in vitro* es de 8.889 plántulas/ha, ya que las diferencias en rendimiento con la densidad de siembra tradicional de 13.334 plántulas/ha son mínimas, y permiten un mayor aprovechamiento del material de cultivo de tejidos.
- La calidad de la semilla podría estar en función de variables más complejas que interactúan entre sí, y que probablemente no tengan que ver con las variables tradicionales que se determinaron en estos ensayos. En otras palabras es lógico que por ejemplo la germinación sea una cualidad que defina la calidad de una semilla, pero su utilidad como factor de calidad queda en duda cuando los resultados obtenidos no muestran relación estrecha entre la germinación y otras características importantes como lo es el rendimiento. Resultados obtenidos por Villalobos y Chavarría (1999) y los del trabajo de Álvarez (2009), presentan las mismas inconsistencias, las cuales pueden tener explicación en la capacidad de macollamiento natural que tiene la caña de azúcar, que le permite amortiguar los efectos de pérdidas durante la germinación hasta un mínimo permisible. La propuesta de establecimiento de un valor de **70% como porcentaje de germinación mínimo permisible** para la semilla de caña de azúcar, supone un rango que está entre los 8 y 9 tallos/m lineal de surco y que debe verificarse y validarse para poder establecerlo como parámetro de calidad. Este aspecto de la influencia de la germinación como factor de calidad y su influencia en la producción debe de seguir estudiándose con más detalle.
- Lo señalado por Chavarría *et al* (2006) y reiterado por Álvarez (2009), es comprobado en estos ensayos, de que la selección de la semilla cosechada a la edad adecuada tienen efecto diferenciado en el desarrollo y productividad final. El aspecto de la selección en la producción de semilla debe reforzarse con la definición de parámetros de calidad que deben de analizarse e investigarse más detenidamente, con el fin de determinar con precisión lo que define “una semilla de calidad” previo a la cosecha y siembra del material reproductivo.
- Es importante que quede muy claro que los resultados de estos ensayos no desmerecen, ni desprestigian, ni invalidan el efecto necesario y valioso que tiene el tratamiento de la semilla por hidro termo terapia en la prevención y eliminación de plagas y enfermedades, tanto de origen fungoso como bacteriano, y que se transmiten por semilla; además, el complemento con la utilización de semilla básica obtenida a partir de cultivo de tejidos, constituyen una

estrategia importante y valiosa que también permite reducir la incidencia de enfermedades de origen viral en los semilleros.

LITERATURA CITADA

- ALFARO, R.; CHAVARRÍA, E.; BOLAÑOS, J.; ANGULO, A.; CONEJO, A. 2003. Estudio Comparativo del Tratamiento Hidrotérmico de Yemas y Esquejes para el Control del Raquitismo (*Leifsonia xyli*) en Tres Variedades Comerciales de Caña de Azúcar en el Ingenio Taboga, Guanacaste. In: XV Congreso de ATACORI. Hotel Condovac La Costa, Playa Hermosa. Guanacaste, Costa Rica. 3 – 5 de septiembre del 2003.
- ALFARO, R.; CHAVARRÍA, E.; CHAVES, M. 2007. Protocolo: Recomendaciones Técnicas para el Establecimiento y Manejo de Semilleros Básicos de Caña de Azúcar en Costa Rica. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). San José, Costa Rica. 25 p. Consultado el 17 de septiembre del 2012. Disponible en: <http://www.laica.co.cr/biblioteca/verSubcategoria.do?p=1&c=443&s=2521>.
- ÁLVAREZ, J. A. 2009. Evaluación del Material Propagativo de las Variedades de Caña de Azúcar (CP72–2086 y NA56–42), para el Establecimiento de Semilleros en el Ingenio CATSA, Guanacaste. Tesis de grado Lic. Ingeniería Agronómica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 78 p.
- BARRANTES, J. C.; CHAVES, M. 1999a. Evaluación de Tres Secciones del Tallo Empleadas como Semilla, sobre los Rendimientos Agroindustriales del Clon SP71-5574 de Caña de Azúcar en Pérez Zeledón. In: Memoria XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. Vol. 2. Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca. San José, Costa Rica. 19 – 23 de julio de 1999.
- BARRANTES, J. C.; CHAVES, M. 1999b. Consecuencias del Período de Estacionamiento de la Semilla en el Campo, Sobre Los Rendimientos Agroindustriales del Clon SP71-5574 de Caña de Azúcar en Pérez Zeledón. In: Memoria XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. Vol. 2. Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca. San José, Costa Rica. 19 – 23 de julio de 1999.
- BARRANTES, J. C.; CHAVES, M. 2003. Efecto de la Sección del Tallo Usado Como Semilla en la Producción Agroindustrial de la Caña de Azúcar (*Saccharum* spp), Cultivada en Pérez Zeledón, Costa Rica. In: XV Congreso de ATACORI. Hotel Condovac La Costa, Playa Hermosa. Guanacaste, Costa Rica. 3 – 5 de septiembre del 2003.
- CATE, R. B.; NELSON, L. A. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. International Soil Testing Series Technical Bulletin. No. 1.

- CATE, R. B.; NELSON, L. A. 1971. A Simple Statistical Procedure for Partitioning Soil Test Correlation Data into Two Classes. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Vol. 35: 658 – 660.
- CHAVARRÍA, E.; BOLAÑOS, J.; ANGULO, M.; ROJAS, A; CONEJO, A. 2006. Evaluación del Efecto de la Aplicación Secuencial del Tratamiento Hidro-Térmico de la Semilla en Cuatro Variedades de Caña de Azúcar en Cañas, Guanacaste. *In: XVI Congreso de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI)*. Centro Internacional de Conferencias, Hotel Ramada Plaza Herradura. Heredia, Costa Rica. Del 1 al 4 de agosto del 2006.
- GUZMÁN, M. L.; OCHOA, O.; LUNA, G. J.; VICTORIA, J. I. 1987. El Diagnóstico del Raquitismo de la Soca en Semilleros de Caña de Azúcar. *In: II Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar*. Cali, Colombia. Del 26 al 28 de agosto de 1987.
- VICTORIA, J; VIVEROS, C. A.; CASSALETT, C.; CALDERÓN, H. 1997. Establecimiento de Semilleros Limpios. CENICAÑA. Serie Técnica No 22.
- VILLALOBOS, C.; CHAVARRÍA, E. 1999. Evaluación del Efecto de la Estacionalidad en la Siembra de la Caña de Azúcar, Sobre el Rendimiento Agroindustrial en Esparza de Puntarenas. Promedio de 2 Cosechas. *In: Memoria XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales*. Vol. 2. Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca. San José, Costa Rica. 19 – 23 de julio de 1999.