

Germinación de semilla artificial cp-54 de caña de azúcar para la siembra mecanizada de precisión

Germination of artificial seed cp-54 de sugar-cane for the mechanized sowing of precision

Arias de la Cruz H.L.¹., Salgado García S^{2*}., Córdova Sánchez S¹., García de la Cruz R²., Ortiz Laurel H³.

¹Academia de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Popular de la Chontalpa. ²Áreas de Ciencia Ambiental y Vegetal. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México. Grupo MASCANA. email: salgados@colpos.mx, ³ Área de Mecanización Agrícola. Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba.

Resumen

La siembra de precisión en caña de azúcar no se ha logrado a pesar de las sembradoras mecanizadas de caña de alta tecnología, por ello, el objetivo del trabajo fue evaluar la germinación de la semilla artificial CP-54 recubierta con diferentes polímeros en condiciones de semicampo. Se utilizó un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 3x4x4; es decir, tres cultivares: MEX 69-290, MEX 68-P-23 y CP 72-2086; cuatro polímeros: almidón, grenetina, poliacrilato de sodio y alginato de sodio, y cuatro posiciones de la yema: 3, 6, 9 y 12 siguiendo las manecillas del reloj; la combinación de estos factores generó 48 tratamientos que se realizaron con 10 repeticiones. La yema se encapsuló con los polímeros y se secó a temperatura ambiente durante 72 horas. La siembra se realizó en arena de río. Se realizaron conteos de germinación a partir del día 10 hasta los 45 días posteriores a la siembra, pasado este tiempo, se extrajeron las plantas de caña de azúcar, para evaluar el estado de la yema y medir la longitud de la raíz y altura de los tallos. La germinación de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar, fue de 100 y 84% con los encapsulados de almidón y alginato de sodio, en las posiciones de yema 12, 3 y 9, y sin importar el cultivar. La mayor longitud de raíz se obtuvo con el encapsulado de almidón y alginato de sodio. La mayor altura de planta, se obtuvo en MEX 69-290 y MEX 68-P-23 encapsulados con almidón y alginato de sodio. El estado físico de las yemas fue mejor en la semilla artificial elaborada con almidón y alginato de sodio en los tres cultivares e independientemente de la posición de la yema. El encapsulado con almidón se mantiene conservando la forma de semilla artificial.

Palabras clave: caña de azúcar, yema, encapsulado, semilla artificial, germinación

Abstract

Precision planting sugarcane has not been achieved despite seeders mechanized cane high technology, therefore, the objective of this work was to evaluate the germination of artificial seeds CP-54 coated with different polymers in semi-field conditions. A design was completely randomized, with a factorial arrangement 3x4x4; ie three cultivars: 69-290 MEX, MEX 68-P-23 and CP 72-2086; four polymers: starch, gelatin, sodium polyacrylate and sodium alginate, and four positions buds: 3, 6, 9 and 12 following clockwise; the combination of these factors generated 48 treatments were performed with 10 repetitions. Sowing was done in river sand. Counts of germination were made from day 10 to 45 days after planting, after this time, the plants of sugarcane were extracted, to assess the state of the buds and measure the root length and height stems. Germination of seed CP-54 artificial sugarcane, was 100 and 84% encapsulated with starch and sodium alginate, at positions buds 12, 3 and 9, and regardless of

the cultivar. Most root length was obtained with encapsulating starch and sodium alginate. Most plant height was obtained in MEX 69-290 and MEX 68-P-23 encapsulated starch and sodium alginate. The physical state of buds was better in the artificial seed made with starch and sodium alginate in the three cultivars regardless of the position of the buds. The encapsulated starch remains preserving the shape of artificial seed.

Keys words: sugar cane, buds, encapsulated, artificial seed, germination

Introducción

El cultivo de caña de azúcar requiere para su establecimiento, manejo y cosecha de maquinaria agrícola, diseñada específicamente para cada propósito. La siembra de caña es una labor que requiere de mucha mano de obra y unas 12 a 18 t/ha de semilla, en forma de tallos vigorosos y completos (Viveros et al., 1995; Salgado et al., 2013). En los últimos años se ha generado un interés creciente por realizar la siembra de caña de forma mecanizada, usando los trozos de caña que resultan de este sistema de cosecha mecanizada. A pesar de que se tiene más de una década de experiencia y se ha tenido el desarrollo de sembradoras de precisión, no se ha logrado por un lado, reducir la cantidad de semilla, y por el otro, un manejo inadecuado de las cosechadoras, con lo que la semilla presenta daños lo que afecta la germinación (Ripoli y Ripoli, 2010). La fallas en la siembra ocasionan problemas de malezas, insumos no aprovechados y bajos rendimientos de caña a la cosecha. Como opción a este último inconveniente, se prefiere utilizar una mayor cantidad de semilla para prever suficientes yemas sanas y asegurar una siembra lo más uniforme posible.

En la Agencia Paulista de Tecnología y Agronegocios- APTA- Polo centro sur, han realizado la siembra mecanizada a partir de plántulas de caña de azúcar obtenidas en los programas de mejoramiento genético; para ello, se ha utilizado una sembradora de papa modificada donde un auxiliar coloca manualmente las plántulas en las aperturas de la sembradora; la planta es depositada en el surco semi-enterrada y otro auxiliar con azadón aporca la plántula terminando de realizar la siembra (Salgado, 2008). Recientemente, este sistema de siembra mecanizada con plántulas ha sido evaluado en el instituto nacional de ingeniería agrícola de Combaitore, con resultados que indican una reducción en los costos de siembra de 40% comparado con el tradicional (Naik et al., 2012). Sin embargo aún es un sistema laborioso y lento, que requiere de mucha preparación de los materiales (plántulas). Asimismo, se obtiene una mayor rapidez en la operación de la siembra y se logra una cierta uniformidad en la profundidad de colocación de las plántulas, lo que puede permitir un desarrollo similar del cultivo.

Estos intentos, no terminan de resolver la necesidad de la siembra mecanizada de precisión, que además reduzca la mano de obra requerida, el volumen y peso de la semilla requerida y que sea más rápida. Una posibilidad para hacer realidad esto es la utilización de yemas de caña encapsuladas (semilla artificial), para asegurar la viabilidad de la yema durante su manejo y que el encapsulado aporte humedad y protección adecuada para su germinación (Salgado et al., 2015). Por ello se planteó el presente trabajo con los objetivos de evaluar la germinación a los 45 días, el crecimiento y desarrollo de la semilla artificial CP-54 recubierta con diferentes polímeros. Evaluar el estado físico y el encapsulado de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar, después de la siembra. Asumiendo que, al menos uno de los polímeros para elaborar la semilla artificial CP-54, permite la germinación, crecimiento de raíz y desarrollo de las plantas de caña de azúcar.

Metodología

El trabajo se inició se realizó en el área de camellones del Recinto del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco en condiciones de semicampo.

Los tallos de caña de azúcar fueron de los cultivares MEX 69-290, Méx 68-P-23 y CP 72-2086, de ocho meses de edad, se colectaron en el poblado C-34: Benito Juárez García, del municipio de Huimanguillo, Tabasco, ubicado a 21 kilómetros al suroeste de la ciudad de Cárdenas, Tabasco, cuyas coordenadas son: 17° 57' 56.7102", -93° 27' 9.8598". Con el uso de un machete se cortaron tallos de caña de azúcar de los cultivares ya mencionadas.

Obtención de las yemas. Con la segueta de forma manual se cortaron las yemas de 30 a 35 mm de longitud, contando con 25 mm de reserva a partir de la cicatriz hacia abajo y de 10 mm en la parte superior, para que la banda de raíces y la yema, no se dañara.

Desinfección de los trozos de tallo con yema. Los trozos con yema se desinfectaron en una solución de Malathion 50 EC 0.1 % (2 mL/L de agua) y Carbendazim 0.1 % (1 mL/L de agua). Se sumergieron las yemas en la solución durante 10 minutos. Posteriormente se dejaron secar por 10 minutos.

Diseño experimental y tratamientos. Para generar los tratamientos se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 3x4x4 (tres cultivares: Méx 69-290, Méx 68-P-23 y CP 72-2086; semilla artificial CP-54 elaborada con cuatro polímeros: almidón, grenetina, poliacrilato de sodio y alginato de sodio más cloruro de potasio; y cuatro posiciones de la yema en el sustrato: 12, 3, 6 y a las 9 siguiendo las manecillas del reloj). Lo que generó 48 tratamientos que se distribuyeron en charolas en un arreglo completamente al azar, con 10 repeticiones.

Procedimiento para encapsular

Preparación del almidón. Se utilizaron 100 g de fécula de maíz y 1 L de agua. En una parrilla eléctrica se colocó un vaso de precipitado con 750 mL de agua y se calentó. La fécula de maíz se disolvió en 250 mL de agua en un vaso de precipitado. Esta mezcla se vertió en el vaso de precipitado con los 750 mL del agua caliente, agitando para evitar la formación de grumos.

Procedimiento para encapsular. Se pesaron 400 g de paja molida, en un vaso de plástico con una balanza granataria. Se colocó la paja molida en una bandeja de plástico y se le adicionó 1 L de almidón para formar una pasta. Se amarraron las yemas con un hilo para indicar su posición. Con la pasta se cubrieron las yemas manualmente hasta darles la forma de una cápsula y se colocaron en una bandeja de plástico donde se dejaron secar durante 72 horas a la sombra.

Preparación de la grenetina. Se mezclaron 250 g de grenetina en 1 L de agua en un vaso de precipitado. A esta mezcla se le aplicó calor utilizando una parrilla eléctrica para eliminar los grumos y homogeneizarla. Cuando la mezcla se homogeneizó, se retiró del calor hasta reducir su temperatura a 32°C, para evitar que el calor de la mezcla dañara la yema de la caña.

Procedimiento para encapsular. Se marcaron las yemas amarrándolas con un hilo para indicar su posición. En una bandeja de plástico se vertió la mezcla de grenetina y se le agregaron 100 g de paja molida para formar una pasta. Se sumergieron las yemas en la mezcla de grenetina con paja y se colocaron en una bolsa para cubriirlas adicionalmente con paja molida. Se colocaron los encapsulados sobre una bandeja de plástico y se dejaron secar durante 72 horas a la sombra.

Poliacrilato de sodio. Se mezclaron 400 mL de resistol blanco con 100 mL de agua en un vaso de precipitado y se vertió en un recipiente de plástico.

Procedimiento para encapsular. Se marcaron las yemas amarrándolas con un hilo para indicar su posición. Las yemas se cubrieron manualmente con la mezcla de resistol blanco y agua y se colocaron en una bandeja de plástico que contenía poliacrilato de sodio. Luego se recubrieron las yemas con poliacrilato de sodio y se colocaron sobre una bandeja de plástico. Los encapsulados se dejaron secar durante 72 horas en la bandeja de plástico a la sombra.

Alginato de sodio y cloruro de calcio. Se utilizaron 20 g de alginato de sodio, 112 g de cloruro de calcio y 2 L de agua. Se mezclaron los 20 g de alginato de sodio con 1 L de agua en un vaso de precipitado, agitando constantemente para evitar la formación de grumos. De igual manera se mezclaron los 112 g de cloruro de calcio con 1 L de agua en un vaso de precipitado.

Procedimiento para encapsular. Se marcaron las yemas amarrándolas con un hilo para indicar su posición. En el vaso de precipitado que contenía la mezcla de alginato de sodio se agregó 300 g de paja molida para formar una pasta. Con la pasta se cubrieron las yemas manualmente hasta darles la forma de una cápsula. Las cápsulas se sumergieron en la solución de cloruro de calcio, para la solidificación del polímero y se colocaron en una bandeja de plástico donde se dejaron secar durante 72 horas a la sombra.

Establecimiento del experimento

Preparación del sustrato. Como sustrato se utilizó arena de río la cual se lavó cinco veces con agua corriente para eliminar impurezas. Se utilizaron diez cubetas con arena de aproximadamente 20 L cada una.

Procedimiento de siembra de la semilla artificial CP-54. Se utilizó una estructura de hecha de blocks (cama), la cual se dividió en 10 partes de 120 cm de ancho por 80 cm de largo. Fue llenada con el sustrato antes mencionado hasta una cuarta parte. Se marcaron 4 filas, y posteriormente se colocaron 12 encapsulados por fila, para completar una repetición de los tratamientos. Después se cubrieron los encapsulados con otra porción de arena, aproximadamente 5 cm sobre cada encapsulado. Finalmente se aplicó un riego ligero para humedecer el sustrato.

Manejo del experimento. Se realizaron visitas diarias, para establecer la necesidad del riego. Para el riego se utilizaron aproximadamente cuatro litros de agua corriente en cada maceta.

Variables de estudio

Germinación. Se realizaron conteos de la germinación de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar a los 10, 15, 20, 30 y 45 días posteriores a la siembra; en este trabajo solo se presentaran los resultados de 20 y 45 días.

Altura de tallo y longitud de raíz. Después de los 46 días de la siembra, se desenterraron las plantas de caña de azúcar, así como las semillas que no germinaron, para evaluar el estado de la yema y medir la longitud del tallo y raíz. Se regaron con agua corriente para ablandar el sustrato. Se extrajeron las plantas de caña de azúcar con cuidado para no romper las raíces. Utilizando una cinta métrica se midió la longitud de la raíz más larga de la planta. Así mismo se midió la altura de los tallos de la planta desde la base hasta la punta de la última hoja.

Estado físico de la yema en la semilla artificial CP-54. Al momento de la extracción de las plantas se realizó una evaluación visual del estado físico de las yemas en la semilla artificial. Para ello se utilizó la siguiente escala:

1. Para plantas que habían germinado y/o que la yema aún estaba viva.
0. Yemas que presentaban daños o putrefactas.

Estado físico del encapsulado de la semilla artificial. Es una medida de la permanencia del encapsulado en la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar. Se realizó una evaluación visual del estado físico del encapsulado en la semilla artificial, con la escala:

1. El encapsulado se conserva en la superficie de la semilla.
0. El encapsulado se desintegro totalmente.

Análisis estadístico. Para todas las variables se realizó un análisis de varianza (anova) con un diseño factorial 3*4*4 y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, usando el paquete SAS versión 9.3.

Resultados y discusión

Germinación de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar a los 20 días de la siembra. El análisis de varianza para la germinación a los 20 días indica efectos significativos para polímeros y la interacción P*Po (Tabla I). El coeficiente de variación resultó de 83.9%, se considera elevado, que se atribuye al empleo de los polímeros para el recubrimiento de las yemas. De acuerdo con la prueba de Tukey la germinación fue igual estadísticamente en los tres cultivares con un promedio de germinación del 50% (Tabla I), lo cual es considerado como media, en comparación de los 35.8% de germinación reportada a los 30 días de la siembra por Martin *et al.* (2010).

Los polímeros que presentaron mayor porcentaje de germinación fueron alginato de sodio y almidón con una media de germinación de 75 y 64% respectivamente. El poliacrilato de sodio presentó la menor germinación con un 10%.

Con respecto a la posición de la yema en el sustrato, se observa que esta no influye en la germinación, ya que presentaron todas las posiciones un promedio del 50% de germinación que es considerada como media. La significancia de la interacción indica, que el poliacrilato de sodio presentó la menor germinación a los 20 días en rangos de 0-20% sin importar la posición de la yema y el cultivar usado.

Germinación de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar a los 45 días de la siembra. El análisis de varianza para la germinación a los 20 días indica efectos significativos únicamente para los polímeros, no así, para cultivar, posición e interacciones (Tabla I). El coeficiente de variación resultó de 48.9 %, que es considerado elevado en la determinación de la germinación a los 45 días. Lo que se atribuye al efecto de los polímeros para elaborar la semilla artificial de caña de azúcar que retrasó la germinación.

De acuerdo con la prueba de Tukey la germinación fue igual estadísticamente en los tres cultivares (Tabla I), con un promedio de germinación del 75 % lo cual es considerado aceptable según Martin *et al.* (2010), quienes reportaron un porcentaje de germinación de 49.3% a los 45 días de la siembra.

La semilla artificial CP-54 de caña de azúcar, elaborada con alginato de sodio presentó una germinación del 100 %, superando a las semillas artificiales elaboradas con almidón y grenetina. Con esta germinación, cualquiera de estas semillas puede servir para la siembra mecanizada de precisión de caña de azúcar. La semilla artificial elaborada con poliacrilato de sodio presentó la menor germinación con un 40 %, debido a su propiedad de absorción de agua que retrasó el proceso de germinación.

Con respecto a la posición de la yema en el sustrato se observa que esta no influye en la germinación, ya que presentaron 75 % de germinación en las cuatro posiciones (Tabla I). Lo cual indica que no se afecta la germinación. En la literatura mundial no se reportan estudios relacionados a la germinación de semilla artificial de caña de azúcar; por lo que este trabajo se considera pionero en su tipo.

Longitud de raíz 46 días. El análisis de varianza para la longitud de raíz indica efectos significativos para polímeros, las interacciones C*P y P*Po (Tabla II). El coeficiente de variación fue de 72.06 %, que es considerado elevado en la determinación de la longitud de raíz. Lo que, se atribuye al empleo de los polímeros, nutrición y el tipo de cultivar.

La semilla artificial CP-54 de caña de azúcar elaborada con los polímeros alginato de sodio, almidón y grenetina, presentaron mayor longitud de raíz en comparación con el poliacrilato de sodio. Ya que estos polímeros permiten la germinación y el crecimiento de la raíz.

La significancia de la interacción C*P, indica que la longitud de raíz fue mayor en la semilla artificial elaborada con almidón y alginato de sodio más cloruro de calcio en los tres cultivares (Tabla II).

Tabla I. Germinación de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar a los 20 y 45 días después de la siembra.

Cultivar (C)	Polímero (P)	Posición (Po)	Germinación (% 20 días)	Germinación total (%, 45 días)
MEX 69-290	Almidón	12	0.9	1.0
		3	0.6	0.70
		6	0.5	0.80
		9	0.5	0.70
	Poliacrilato de sodio	12	0	0.50
		3	0	0.20
		6	0.2	0.40
		9	0.1	0.50
	Grenetina	12	0.9	1.0
		3	0.7	1.0
		6	0.7	1.0
		9	0.5	0.8
Alginato de sodio	12	0.8	1.0	
	3	1	1.0	
	6	0.4	1.0	
	9	1	1.0	
MEX 68-P-23	Almidón	12	0.6	0.80
		3	0.7	0.90
		6	0.6	0.80
		9	0.6	0.80
	Poliacrilato de sodio	12	0	0.20
		3	0.1	0.40
		6	0.2	0.50
		9	0.2	0.50
	Grenetina	12	0.8	0.90
		3	0.4	0.60
		6	0.4	0.70
		9	0.3	0.60
Alginato de sodio	12	0.8	1.0	
	3	0.6	1.0	
	6	0.7	1.0	
	9	0.9	1.0	
CP 72-2086	Almidón	12	0.8	0.80
		3	0.7	0.80
		6	0.6	0.80
		9	0.6	0.90
	Poliacrilato de sodio	12	0	0.30
		3	0.1	0.40
		6	0.2	0.50
		9	0.1	0.40
	Grenetina	12	0.6	0.70
		3	0.4	1.0
		6	0.4	0.50
		9	0.3	0.90
Alginato de sodio	12	0.9	1.0	
	3	0.7	1.0	
	6	0.5	1.0	
	9	0.8	1.0	

Continuación Tabla I.....			
MEDIA CULTIVAR	MEX 69-290	0.55 a [†]	0.78 a
	MEX 68-P-23	0.49 a	0.75 a
	CP 72-2086	0.48 a	0.73 a
MEDIA POLIMERO	Almidón	0.64 ab	0.81 b
	Poliacrilato de sodio	0.10 c	0.40 c
	Grenetina	0.53 b	0.80 b
	Alginato de sodio	0.75 a	1.0 a
MEDIA POSICION	12	0.59 a	0.76 a
	3	0.50 a	0.75 a
	6	0.45 a	0.75 a
	9	0.49 a	0.75 a
	CV (%):	83.9	48.9
	DSM C	0.11	0.09
	DSM P	0.14	0.12
	DSM Po	0.14	0.12
	Prob. F.		
	C	0.30 NS	0.38 NS
	P	0.01 **	0.01 **
	Po	0.07 NS	0.98 NS
	CxP	0.21 NS	0.25 NS
	CxPo	0.94 NS	0.35 NS
	PxPo	0.0014 **	0.58 NS
	CxPxPo	0.87 NS	0.42 NS

* Efecto significativo, ** Efecto altamente significativo, NS: no significativo,

[†] Medias con la misma literal dentro de la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

La significancia de la interacción P*Po, muestra que la semilla artificial CP-54 elaborada con almidón y alginato de sodio más cloruro de calcio presento mayor longitud de raíz en comparación de grenetina y poliacrilato de sodio (Tabla I). Estos últimos polímeros retrasaron el crecimiento de la raíz.

Altura de planta a los 46 días. El análisis de varianza para la altura de planta indica efectos significativos para cultivar, polímeros y la interacción C*P (Tabla II). El coeficiente de variación resultó de 80.6 %, que es considerado elevado en la determinación de la altura de planta. Lo que se atribuye a que algunos de los polímeros retrasaron la germinación y el desarrollo de la planta.

De acuerdo con la prueba de Tukey, el cultivar CP 72-2086 presento la menor altura (Tabla II), algunos polímeros para elaborar la semilla artificial retrasaron su desarrollo. Por el contrario los cultivares MEX 69-290 y MEX 68-P-23, presentaron mayor altura de planta.

La semilla artificial CP-54 de caña de azúcar elaborada con los polímeros almidón, grenetina y alginato de sodio presentaron mayor altura de planta (Tabla II). Por el contrario, la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar elaborada con el poliacrilato de sodio presento la menor altura de planta; este polímero retraso la germinación y el desarrollo del cultivo.

La significancia de la interacción C*P, indica que la altura de planta fue mayor en la semilla artificial elaborada con almidón y alginato de sodio más cloruro de calcio en los tres cultivares (Tabla II).

Estado físico de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar a los 46 días. Los resultados del análisis de varianza del estado físico de las yemas en la semilla artificial CP-54, muestra diferencias altamente significativas para el efecto de polímero, cultivar, y las interacciones C*P y C*P*Po (Tabla II). El coeficiente de variación fue elevado 51.9 %, que se considera alto, pero se explica por el pobre desempeño del poliacrilato como encapsulante de la semilla artificial.

Tabla II. Medición de la longitud de raíz, altura de planta, estado físico de la yema y del encapsulado de la semilla artificial CP-54 a los 46 días después de la siembra.

Cultivar (C)	Polímero (P)	Posición de yema (Po)	Longitud de raíz (cm)	Altura de planta (cm)	Estado físico de la yema en la semilla artificial	Estado físico del encapsulado en la semilla artificial
MEX 69-290	Almidón	12	18.3	83.1	1.0	0.9
		3	13.6	51.5	0.7	0.7
		6	11.5	41.3	0.7	0.4
		9	10.8	62.4	0.8	0.6
	Poliacrilato de sodio	12	1.3	2.9	0.7	0.5
		3	1.8	7.6	0.6	0.5
		6	4.5	26.3	0.9	0.4
		9	2.9	3.3	0.8	0.6
	Grenetina	12	19	91	0.9	0.3
		3	15.6	86.7	0.8	0.2
		6	16.5	70.4	0.9	0.6
		9	16.9	73	0.7	0.3
	Alginato de sodio	12	13.2	56.9	0.9	0.4
		3	14.4	64.1	1.0	0.4
		6	12.6	58.9	0.9	0.4
		9	15.4	65.5	0.9	0.4
MEX 68-P-23	Almidón	12	15.1	59.9	0.8	0.8
		3	14.1	64.2	1.0	0.8
		6	10	43.8	0.8	0.7
		9	17.3	61.7	1.0	0.5
	Poliacrilato de sodio	12	1.8	1.5	0.7	0.4
		3	5	30.3	0.7	0.4
		6	5.4	25.7	0.6	0.6
		9	7.4	34.2	0.6	0.3
	Grenetina	12	12.1	56.9	0.9	0.4
		3	10.7	37.1	0.7	0.2
		6	13	36.1	0.7	0.1
		9	5.4	23.7	0.4	0.1
	Alginato de sodio	12	13.7	65	0.9	0.3
		3	13.9	54.4	0.8	0.3
		6	18.3	68.8	0.9	0.5
		9	11.7	44.4	0.7	0.5
CP 72-2086	Almidón	12	14.8	65.8	0.7	0.5
		3	11.4	62.5	0.7	0.8
		6	9.8	59.1	0.9	0.6
		9	13.9	58.1	0.9	0.5
	Poliacrilato de sodio	12	2.8	12	0.5	0.5
		3	6.6	23.7	0.6	0.4
		6	4.9	21	0.7	0.4
		9	3	10.2	0.3	0.2
	Grenetina	12	11.1	35.3	0.6	0.3
		3	11.5	46.5	0.6	0.3
		6	5	23.1	0.7	0.6
		9	6.6	33	0.4	0.3
	Alginato de sodio	12	9.4	48.2	0.9	0.3
		3	15.3	57.4	0.9	0.3
		6	13.6	62.8	1.0	0.3
		9	16.7	60.2	1.0	0.3

Continuación Tabla II....

Medias	Factores	Longitud de raíz (cm)	Altura de planta (cm)	Estado físico de la yema en la semilla artificial	Estado físico del encapsulado en la semilla artificial
Cultivar (C)	MEX 69-290	11.76 a [†]	52.80 a	0.82 a	0.47 a
	MEX 68-P-23	10.93 a	44.23 ab	0.76 ab	0.43 a
	CP 72-2086	9.77 a	42.43 b	0.71 b	0.41 a
Polímero (P)	Almidón	13.38 a	59.45 a	0.83 a	0.65 a
	Poliacrilato de sodio	3.95 b	16.55 b	0.64 b	0.43 b
	Grenetina	11.95 a	51.06 a	0.69 b	0.30 b
	Alginato de sodio	14.01 a	58.88 a	0.9 a	0.36 b
Posición (Po)	12	11.05 a	48.20 a	0.79 a	0.46 a
	3	11.15 a	48.83 a	0.75 a	0.44 a
	6	10.42 a	44.77 a	0.80 a	0.46 a
	9	10.66 a	44.14 a	0.70 a	0.38 a
	CV (%):	72.06	80.66	51.90	105.44
	DSM C	2.05	9.86	0.10	0.12
	DSM P	2.59	12.48	0.13	0.15
	DSM Po	2.59	12.48	0.13	0.15
	Prob. F. para:				
	C	0.07NS	0.03*	0.04NS	0.46NS
	P	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**
	Po	0.87NS	0.69NS	0.22NS	0.46NS
	CxP	0.0007**	0.01**	0.06NS	0.48NS
	CxPo	0.68NS	0.96NS	0.53NS	0.86NS
	PxPo	0.04*	0.12NS	0.33NS	0.48NS
	CxPxPo	0.50NS	0.83NS	0.01**	0.63NS

*

Efecto significativo, ** Efecto altamente significativo, NS: no significativo,

[†] Medias con la misma literal dentro de la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

En cuanto al polímero se observó que las semillas elaboradas con almidón y alginato de sodio presentaron significativamente un mejor estado físico en comparación del encapsulado de grenetina y poliácrlato, ya que el primero resultó un encapsulado frágil y sin consistencia; el segundo debido a sus propiedades de absorción de agua retrasó la germinación y el desarrollo de la planta, por lo que se descartan para este propósito. La prueba de Tukey indica que las yemas de las semillas artificiales de los cultivares MEX 69-290 y Méx 68-P-23, se conservaron significativamente mejor en comparación de las yemas de la semilla del cultivar CP 72-2086.

La significancia de la interacción C*P*Po, indica que el estado físico de las yemas fue mejor en la semilla artificial elaborada con los polímeros almidón y alginato de sodio más cloruro de calcio en los tres cultivares (Tabla II), independientemente de la posición de la yema.

Estado físico del encapsulado de la semilla artificial a los 46 días. Los resultados del análisis de varianza para el encapsulado de la semilla artificial indican diferencias significativas para polímero y no significativas para el cultivar y sus interacciones (Tabla II). El coeficiente de variación fue muy elevado 105.4 %, debido a que al ir creciendo las plantas, las raíces van desprendiendo el encapsulado de las semillas o al pobre desempeño de algunos polímeros que resultaron frágiles. El efecto significativo de polímero indica que el encapsulado con almidón se mantiene conservando la forma de la semilla artificial, sin interrumpir la germinación y el desarrollo de la planta. Contrariamente a lo observado para el resto de los polímeros, donde el encapsulado ha desaparecido de la semilla.

Conclusiones

Los polímeros utilizados para encapsular la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar, permiten la germinación, crecimiento de raíz y desarrollo de las plantas de caña de azúcar; así como también, conserva en buen estado físico y mantiene el encapsulado.

La mayor germinación de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar, se obtuvo con el encapsulado de los polímeros de Almidón y Alginato de sodio, en las posiciones 12, 3 y 9, sin importar el cultivar. El almidón tuvo un promedio de germinación del 64 % a los 20 días de la siembra y el 81 % a los 45 días después de la siembra. El alginato de sodio presentó un promedio de germinación de 75% a los 20 días después de la siembra y el 100% a los 45 días de la siembra.

La mayor longitud de la raíz se obtuvo en la semilla artificial CP-54 con el encapsulado de los polímeros de almidón y alginato de sodio, con un promedio de 14.01 y 13.3 cm respectivamente, sin importar el cultivar y la colocación de las yemas.

La mayor altura de planta, se obtuvo en la semilla artificial de los cultivares MEX 69-290 y MEX 68-P-23 encapsulados con los polímeros almidón y alginato de sodio, con un promedio de 52.80 y 44.23 cm de altura de planta, respectivamente, sin importar la posición de la yema en el sustrato.

El estado físico de las yemas fue mejor en la semilla artificial elaborada con los polímeros almidón y alginato de sodio en los tres cultivares e independientemente de la posición de la yema en el sustrato.

El encapsulado con el polímero almidón se mantiene conservando la forma de la semilla artificial.

Agradecimientos

Al Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por el apoyo económico y las facilidades del Laboratorio Central de Investigación para realizar el proyecto de tesis.

Bibliografía

- Martin AF, Orellano BLA, Velazco A. (2010). Comportamiento de la germinación de variedades comerciales de caña de azúcar en extensión, CENICAÑA, B 7274 y RAGNAR en la provincia de Morona Santiago, Cantón Morona, Parroquia Río Blanco, Comunidad San Miguel de Arapicos, Ecuador a 1000 M.S.N.M. Ecuador. 14p. <http://es.slideshare.net/INGPAKOWPN/comportamiento-de-la-germinacin-de-variedades-comerciales-de-caa-de-azcar-en-extensin-cenicaa-b-7274-y-ragnar-en-la-provincia-de-morona-santiago-cantn-morona-parroquia-rio-blanco-comunidad-san-miguel-de-arapicos-ecuador-a-1000-msnm> (consultado en marzo de 2015).
- Naik R, Annamalai SJK, Nair NV, Prasad NR (2013). Studies on mechanization of planting of sugarcane bud chip seedlings raised in prostrays. Sugar Tech. 15(1): 27–35.
- Rípoli MCL, Rípoli CCT.(2010). Evaluation of five sugarcane planters. *Eng. Agríc. Jaboticabal*, 30(6): 1110-1022.
- Salgado GS, Ortiz LH, Castelán EM, Córdova SS, Álvarez SGF, Arias CHL. (2015). Semilla artificial de caña de azúcar. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco Solicitud MX/E/2015/049475.
- Salgado GS, Lagunes ELC, Núñez ER, Ortiz GCF, Bucio AL, Aranda IEM. (2013). *Caña de azúcar: Producción sustentable*. BBA, Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México, D.F.
- Salgado GS, Pons M, Salaya J, Villegas M, Ramos E, Alejo E. 2009. Evaluación preliminar de la capacidad de sobrevivencia de las plántulas de caña de azúcar. In: Memorias de la XXXII Convención de la ATAM. Jalapa, Veracruz. 1-6.
- Salgado GS.(2008). Informe de estancia sobre el manejo sustentable de caña de azúcar APTA polo Centro Sur-CENA USP, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. 50 p.
- Viveros CA, Calderón H. 1995. Siembra. En Cenicaña. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali. Cenicaña. 131-139.